



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

"EL DILEMA DE LA ENERGIA"

297903

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

LUIS MANUEL MENDIOLA MARTINEZ





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.

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente**            *Prof. Alejandro Anaya Durand*  
**Vocal**                *Prof. Juan Mario Morales Cabrera*  
**Secretario**          *Prof. Martin Rivera Toledo*  
**1er. Suplente**       *Prof. Baldomero Pérez Gabriel*  
**2º. Suplente**        *Prof. Euberto Hugo Flores Puebla*

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**BIBLIOTECAS DE LA U.N.A.M. Y BÚSQUEDA POR INTERNET**

**ASESOR DEL TEMA:**

  
**ING. ALEJANDRO ANAYA DURAND**

**SUSTENTANTE:**

  
**LUIS MANUEL MENDIOLA MARTÍNEZ**

*A veces, cuando las cosas no funcionan como deben,  
cuando sufrimos una derrota, pensamos que todo ha terminado.*

*Pero no es cierto. Se trata siempre sólo de un comienzo.*

*La grandeza no llega cuando las cosas marchan bien*

*sino cuando uno está sometido a una dura prueba;*

*cuando se encajan golpes y desiluciones:*

*cuando sobreviene la tristeza.*

*Porque sólo luego de haber vivido en lo más profundo de los valles*

*se puede apreciar lo magnífico que es ascender*

*a la cumbre de la más alta montaña.*

*Richard Nixon*

*En memoria a mis abuelos:*

*Por aquellas personas que jamás tuvieron y tendrán las mismas oportunidades para seguir adelante, por todos esos inocentes que han fallecido y que mediante su ejemplo me comprometen a dar lo mejor de mí.*

*Agradezco a Dios*

*A México*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México en especial a la Facultad de Química y un merecido reconocimiento a todos mis profesores y asesor de Tesis quien me tuvo paciencia y me supo conducir hasta el final.*

*A mi familia, en especial a:*

*Mis Padres Martha y Salvador por darme la vida, su confianza, por ser y darme con su buen ejemplo los cimientos y pilares en mi formación.*

*Mis hermanos: Salvador, Martha, Alex, Magda, Miguel, Margarita, Rosa, Lourdes, Ana y Andrea a quienes los respeto y admiro por lo que me aportan cada instante de mi vida..*

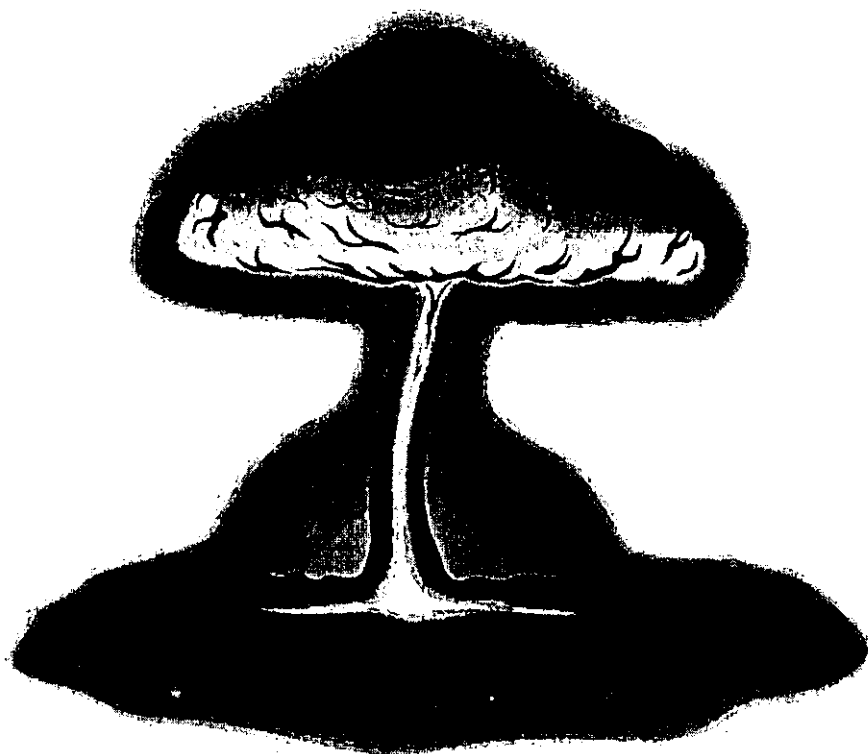
*A las familias Marquez y De la Rosa*

*A mis fraternales amigos y compañeros de IQCA*

*A Sandra, Elisa, Pukis y Enrique*

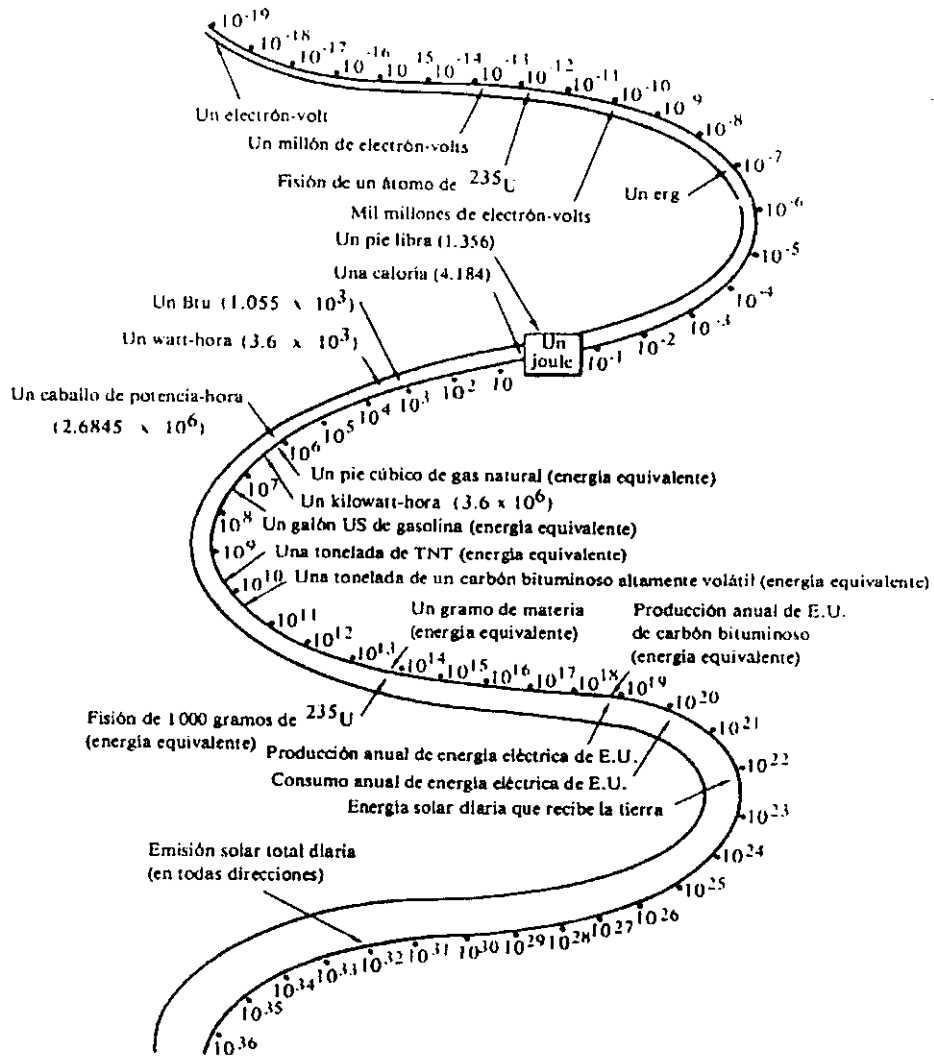
*Y a todos aquellos familiares, amigos y compañeros que en las buenas y en los momentos difíciles siempre han estado apoyándome.*

*EL DILEMA*



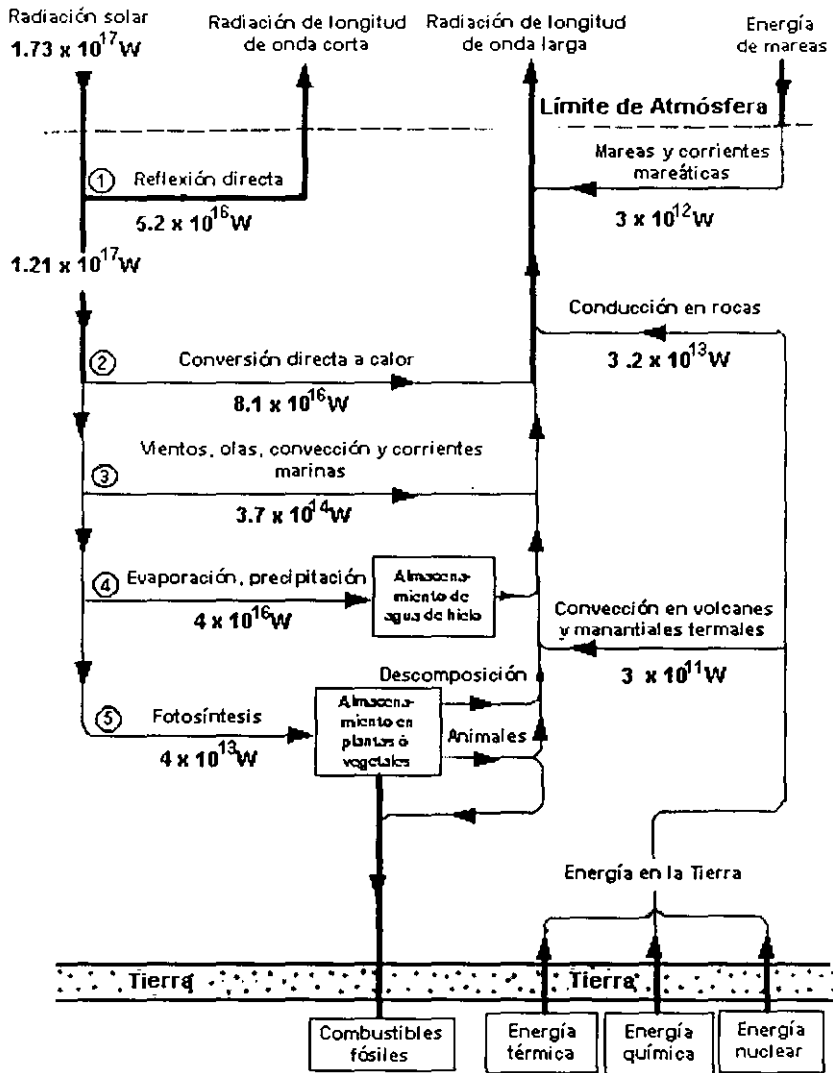
*DE LA ENERGÍA*

## “Espectos de varias cantidades de Energía”



Fuente: De la Van Nostrand's Scientific Encyclopedia

## “Flujos de Energía en la Tierra”



Fuente: Geoffrey F. Hewitt, Introducción a la Ingeniería Nuclear, Ed. Harla, pág. 14, México 1992



## TABLA DE CONTENIDO

<b>OBJETIVOS Y ALCANCE</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I PERSPECTIVAS MUNDIALES EN EL SIGLO XXI</b> .....	5
1.1 PERSPECTIVAS MUNDIALES .....	7
1.2 PERSPECTIVAS EN MÉXICO .....	20
<b>CAPITULO II FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES</b> .....	23
2.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS.....	25
2.2 FUENTES PRIMARIAS DE ENERGÍA .....	26
2.2.1 Consumo mundial de energía .....	26
2.2.2 Consumo de energía por combustible .....	28
2.3 CARBÓN .....	35
2.3.1 Conceptos básicos y tipos de carbón .....	35
2.3.2 Reservas mundiales de carbón .....	36
2.3.3 Producción y consumo .....	39
2.3.4 Precios de carbón .....	47
2.3.5 Opción del uso del carbón .....	47
2.3.6 Impacto ambiental .....	49
2.3.7 Perspectiva del uso del carbón en México .....	50
2.4 GAS NATURAL .....	51
2.4.1 Conceptos y definiciones .....	51
2.4.2 Reservas Mundiales de Gas .....	52
2.4.3 Producción y consumo .....	56
2.4.4 Perspectivas Mundiales .....	65
2.4.5 Perspectiva del gas natural en México hasta el 2008 .....	67
2.4.6 Nuevos yacimientos de gas natural con gran potencial .....	68
2.4.7 Aspecto económico .....	69
2.4.8 Propuesta de Inversión y Creación de nuevas empresas en el sector de Gas Natural .....	71
2.5 PETRÓLEO .....	73
2.5.1 Conceptos y definiciones .....	73
2.5.2 Reservas Mundiales de Petróleo .....	74
2.5.3 Producción y Consumo .....	77
2.5.4 Consumo de petróleo para el transporte .....	87
2.5.5 Aspecto económico .....	95
2.5.6 Perspectivas en México .....	97
2.6 IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE LOS ENERGÉTICOS .....	101
2.6.1 Emisiones de carbóno máximas permiscibles fijadas mediante el Protocolo de Kyoto ..	101
2.6.2 Emisiones de carbono a la atmósfera .....	102
2.6.3 Cambio climático .....	105
2.6.4 Conclusión .....	105
<b>CAPÍTULO III TENDENCIAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA</b> .....	107
3.1 PERSPECTIVAS MUNDIALES AL 2020 .....	109
3.1.1 Consumo mundial de energía eléctrica .....	109
3.1.2 Generación de electricidad por combustible .....	114
3.1.3 Aspecto económico .....	115
3.2 DEMANDA BRUTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO .....	116
3.2.1 Generación Importación y Consumo .....	116
3.2.2 Aspecto económico .....	121
3.2.3 Capacidad instalada y localización por tipo de planta .....	124
3.2.4 Generación de electricidad por combustible al 2005 .....	128

3.2.5 Demanda de energía eléctrica al 2010 .....	129
3.2.6 Resumen del sector eléctrico en México .....	130
<b>CAPÍTULO IV FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES .....</b>	<b>131</b>
4.1 CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA .....	133
4.2 ENERGÍA ELÉCTRICA PROVENIENTE DE PLANTAS HIDROELÉCTRICAS ....	136
4.2.1 Consumo Mundial .....	136
4.2.2 Sector Hidroeléctrico en México .....	140
4.2.3 Impacto ambiental .....	140
4.3 ENERGÍA DE LAS MAREAS .....	141
4.3.1 Potencial Mundial .....	142
4.3.2 Plantas instaladas .....	143
4.3.3 Impacto Ambiental .....	143
4.3.4 Ventajas y Desventajas .....	144
4.4 ENERGÍA TÉRMICA DE LOS OCÉANOS .....	145
4.4.1 Potencial Mundial .....	145
4.4.2 Sistemas C110 ventajas y desventajas .....	146
4.4.3 Perspectivas para los inversionistas .....	148
4.5 ENERGÍA DE LAS OLAS .....	149
4.5.1 Potencial Mundial .....	149
4.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE FUENTE .....	151
4.7 ENERGÍA EÓLICA .....	152
4.7.1 Potencial Mundial .....	152
4.7.2 Capacidad Mundial instalada .....	152
4.7.3 Instalación proyectada al 2010 .....	154
4.7.4 Potencial eólico en México .....	155
4.7.5 Ventajas .....	156
4.7.6 Opción de inversión .....	159
4.7.7 Recomendación .....	159
4.8 ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	160
4.8.1 Conceptos básicos .....	160
4.8.2 Potencial Mundial .....	160
4.8.3 Aspectos ambientales .....	163
4.9 ENERGÍA SOLAR .....	165
4.9.1 Sistemas fotovoltaicos .....	165
4.9.1 Potencial Mundial de la energía solar y Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos	165
4.9.2 Precios y eficiencias de los paneles solares .....	168
4.9.3 Producción Mundial de Fotoceldas .....	169
4.9.4 Irradiación solar media en la República Mexicana .....	170
4.9.5 Impacto ambiental .....	172
4.9.10 Colectores de alta temperatura .....	173
4.10 BIOMASA .....	176
4.10.1 Potencial y Consumo Mundial .....	176
4.10.2 Ventajas .....	179
4.10.2 Biomasa en México .....	179
<b>CAPÍTULO V RADIOACTIVIDAD .....</b>	<b>183</b>
5.1 Definiciones y conceptos básicos .....	185
5.2 Tipos de radiaciones .....	187
5.3 Decaimiento Radiactivo .....	188
5.4 Vida media .....	189
5.5 Unidades que se usan en la seguridad radiológica .....	190
5.6 Seguridad radiológica .....	192
5.7 Efectos por radiación interna .....	194

5.8 Daño y efecto biológico por las radiaciones .....	194
5.9 Efectos de radiación en las células .....	195
5.10 Energía producida por radioisótopos .....	196
5.11 Controversia de las Radiaciones .....	197
5.12 Algunas aplicaciones de la radiactividad .....	199
<b>CAPÍTULO VI ENERGÍA NUCLEAR DE FISIÓN .....</b>	<b>201</b>
6.1 Tipos de reactores nucleares por generación .....	203
6.2 Definiciones y conceptos .....	203
6.3 Características y propiedades del "Uranio" .....	204
6.4 Obtención del Uranio .....	205
6.5 Sistemas de enriquecimiento de Uranio .....	207
6.5.1 Planta de Difusión .....	207
6.5.2 Planta centrífuga de enriquecimiento .....	208
6.5.3 Método de separación isotópica mediante sistema láser .....	208
6.6 Reactores Nucleares Térmicos .....	210
6.6.1 Tipos de reactores Nucleares de primera generación .....	210
6.7 Reactores de Regeneración Rápida .....	212
6.7.1 Ventajas de los Reactores de Regeneración Rápida .....	214
6.7.2 Desventajas .....	215
6.8 Tendencias de los Reactores LWR Y FBR a futuro y capacidad instalada .....	215
6.9 Producción mundial de plutonio a partir de reactores nucleares .....	220
6.10 Armas nucleares provenientes de Reactores Civiles de Regeneración Rápida (FBR) .....	221
6.11 Costos de Uranio enriquecido y plutonio grado reactor .....	222
6.12 Reservas producción y Consumo Mundial de Uranio .....	223
6.13 Perspectivas de la energía nuclear al 2020 .....	228
6.14 Productos de desecho .....	229
6.15 Opciones para la eliminación de Desechos Radiactivos .....	231
<b>CAPÍTULO VII ACCIDENTES NUCLEARES .....</b>	<b>233</b>
7.1 Central de Windscale .....	236
7.2 Reactor Experimental de Idaho Falls .....	236
7.3 Reactor Fermi I .....	237
7.4 Central de Browns Ferry .....	237
7.5 Central electronuclear de Three Mile Island .....	237
7.6 Central de Tsurunga .....	237
7.7 Central Electronuclear de Bugey .....	238
7.8 Reactor en Hamm .....	238
7.9 Central Nuclear de Chernobyl, una lección que jamás debe olvidarse .....	238
7.10 Planta nuclear Laguna Verde .....	243
7.10.1 Accidentes preoperacionales en Laguna Verde .....	246
7.10.2 Accidentes en pruebas de arranque en Laguna Verde .....	246
<b>CAPÍTULO VIII ENERGÍA DEL HIDRÓGENO Y FUSIÓN NUCLEAR .....</b>	<b>249</b>
8.1 HIDRÓGENO .....	251
8.1.1 Propiedades y usos potenciales .....	251
8.1.2 Obtención de Hidrógeno .....	255
8.2 LITIO .....	256
8.2.1 Usos .....	256
8.2.2 Producción mundial .....	256
8.2.3 Potencial del litio en el sector automotriz .....	258
8.2.4 Potencial del <sup>6</sup> Li en la fusión Nuclear .....	258

8.3 POTENCIAL DEL Helio ( $^3\text{He}$ ) .....	258
8.4 FUSIÓN NUCLEAR .....	259
8.4.1 La fusión nuclear .....	259
8.4.2 Métodos para calentar el plasma .....	262
8.4.3 FUSIÓN POR CONFINAMIENTO MAGNÉTICO .....	264
8.4.4 FUSIÓN POR CONFINAMIENTO INERCIAL .....	266
8.4.5 Requisitos para la fusión comercial .....	268
8.4.6 Impacto Ambiental y Seguridad Industrial .....	269
8.4.7 Avance tecnológico .....	270
8.4.8 FUSIÓN EN FRIO .....	272
<b>CONCLUSIONES</b> .....	279
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	287
<b>APÉNDICES Y ANEXOS</b> .....	297

## OBJETIVOS:

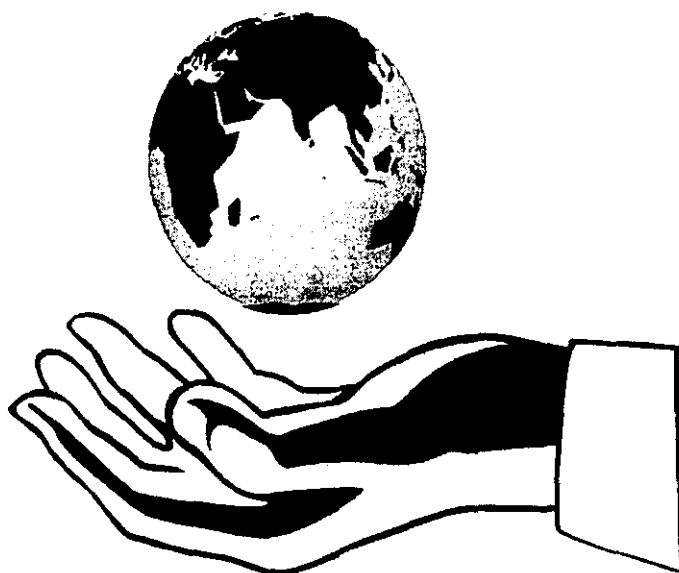
- Analizar los problemas que existen actualmente para la generación de la energía eléctrica necesaria para el consumo humano, tanto en México como en el ámbito mundial.
- Clasificar las diferentes fuentes de producción de energía eléctrica de acuerdo a los recursos naturales renovables y no renovables así como presentar las reservas probadas, la producción y consumo, los flujos actuales y las perspectivas para futuro.
- Promover la inversión tanto en México, como en otros países hasta el año 2020, para la generación de energía eléctrica a través de energía fotovoltaica, eólica, incineradores de basura, biomasa, y gas natural con objeto de tener una menor dependencia de los hidrocarburos y aprovechar éstos últimos en el sector petroquímico para obtener mayores ingresos y beneficios para el país, así como la creación de nuevas empresas que fabriquen y que provean de los componentes con opción de exportación de sistemas como los aerogeneradores y paneles solares entre otros, tomando como ventajas el costo de mano de obra, materias primas existentes en la República Mexicana y los costos de flete favoreciendo a la creación empleos más estables y mejor remunerados y evitar la dependencia de otras potencias como Japón, la Comunidad Europea y Estados Unidos.
- Visualizar cuales son las tendencias de los reactores civiles de fusión nuclear de agua liviana (LWR) y los de regeneración rápida (FBR), ventajas y desventajas entre estos, cuál ha sido y será la cantidad de plutonio grado reactor producido principalmente en estos últimos ya sea de tipo militar como civil y qué implicaciones tiene en la **seguridad mundial** para la generación de **armas nucleares grado plutonio ( $\text{Pu}^{239}$ )** así como el potencial aproximado de Uranio ( $\text{U}^{235}$ ) grado armamento para la generación de energía eléctrica en reactores de agua liviana.
- Concientizar acerca de la importancia que tienen las emisiones de carbón producidas a partir de fuentes de energía NO RENOVABLES y sus derivados, que favorecen el incremento de la temperatura global, favoreciendo el efecto invernadero.

**ALCANCE:**

- ★ Opciones energéticas viables que se tienen para poder invertir y así satisfacer los requerimientos en el sector eléctrico, automotriz y para la generación de potencia en el sector industrial en México y en el mundo hasta el 2020.
- ★ Solo se contemplaron las fuentes de energía que por el momento tienen ó tendrán a mediano (2010-2020) ó largo plazo (2040-2050) muchas posibilidades para cubrir las necesidades energéticas en base a las investigaciones realizadas actualmente a nivel mundial y en algunos casos a nivel nacional.
- ★ La finalidad de "**El Dilema de la Energía**", no es el ver con pesimismo el impacto generado por diversas fuentes de energía en áreas como la ambiental, seguridad mundial, y los efectos producidos por la creciente población y lo que esto implica, sino más bien, ver el impacto que tendrá en el incremento de temperatura global y las consecuencias que se podrían tener para las próximas décadas, tomando como marcos de referencia los datos históricos y las proyecciones hacia el 2020 y en algunos casos un poco más; ya que en función de éstas, se trata de plantear alternativas que favorezcan a la creación de nuevos empleos en el sector energético así como el atraer nuevas inversiones que nos permitan asegurar no solo el crecimiento para la producción de energía eléctrica sino también la modernización y creación de nuevas plantas, aprovechando mejor nuestros recursos sobre todo de tipo renovable, buscando una cierta independencia de los hidrocarburos, para que estos puedan ser mejor aprovechados en el sector petroquímico, el cual, podría generar productos con un mayor valor agregado en vez de ser utilizados como combustible; ya que las reservas probadas de éstos en México, sólo están garantizadas para las próximas 4 décadas al consumo actual sin tomar en cuenta que en solo 25 años la población en México tendrá un incremento del 50% así como la creciente demanda por parte del gobierno de los EUA, que es nuestro socio comprador mayoritario en esta área.
- ★ En el ámbito de la tan polémica energía nuclear proveniente de reactores de fisión nuclear, primero se da una explicación de qué son las radiaciones, cuáles son sus efectos en el ser humano ya que de esta forma se puede entender mejor cuál ha sido el impacto producido tanto al hombre como al medio ambiente ocasionado por diversos accidentes ocurridos, citando entre otros, el de Chernobyl, dejando a libre juicio del lector la justificación del uso de la tecnología de fisión nuclear, ó el uso de las reservas probadas de hidrocarburos y/o potenciales para hacer uso de fuentes de energía renovable.

# Capítulo I

## "Perspectivas mundiales en el siglo XX"



## **CAPÍTULO I**

### **"PERSPECTIVAS MUNDIALES EN EL SIGLO XXI"**

#### **1.1 PERSPECTIVAS MUNDIALES**

Para poder hacer un análisis de los tipos de energía utilizadas actualmente y a futuro, primeramente deberá tenerse en cuenta que los requerimientos energéticos hoy en día son cada vez mayores y esto se debe a que, en la medida que aumenta la población a escala mundial, también los requerimientos energéticos que exigen las nuevas sociedades son cada vez mayores, lo que ha llegado a alarmar principalmente a los países más industrializados ya que la energía requerida en procesos industriales para obtener un sin fin de productos que tienen cada vez mayor demanda como los polímeros, gasolinas, plásticos, productos farmacéuticos, acero, cerámicos, entre otros, se fabrican principalmente de materias primas no renovables como el carbón, petróleo y gas principalmente ó en procesos donde se necesitan altas temperaturas requiriendo en la mayoría, servicios tales como vapor, agua y energía eléctrica, de los cuales este último es generado a partir de diferentes recursos naturales como: carbón, gas natural, petróleo, uranio biomasa, aire, agua, y el sol, siendo producida en plantas eólicas, geotérmicas, hidroeléctricas, incineradores de basura, plantas nucleares, sistemas fotovoltaicos y colectores térmicos solares, termoeléctricas.

Hoy en día los requerimientos de energía son ya una preocupación, debido a que vienen aumentando a un ritmo muy acelerado a medida que se incrementa la población, la cual, durante los últimos siglos ha tenido un crecimiento a partir de un gran suceso que cambio la historia cuando Gran Bretaña entró en las primeras etapas de la revolución industrial. A ese enorme salto productivo siguió la sustitución de las habilidades humanas por los aparatos mecánicos de la fuerza animal y humana por la energía inanimada (vapor y luego electricidad). Esta fomentó de tal modo la productividad, que la riqueza nacional y el poder adquisitivo general sobrepasaron el incremento demográfico.

Durante el siglo XIX la población británica se multiplicó por cuatro, en tanto que el producto nacional creció cuarenta y dos veces.<sup>1</sup>

Con los beneficios de las crecientes exportaciones textiles de la década de 1780 se transformaron en casi cuarenta millones en la década de 1820.<sup>2</sup>

Los nuevos inventos, las nuevas técnicas de producción, las nuevas formas de transporte y los nuevos capitales tendían a estimularse mutuamente; desde entonces, la interacción de cambio tecnológico y desarrollo industrial ha sido imparable.

En tan sólo 200 años la población del planeta ha pasado de 900 millones a 6.000 millones, el ritmo de crecimiento actual está en 78 millones de nuevos seres humanos anualmente. Entre 1825 y 1925 la población se duplicó y llegó a los 2,000 millones; en el siguiente medio siglo de 1925 a 1976 se duplicó otra vez y alcanzó los 4,000 millones, y de 1977 al 2000 sobrepasó los 6,000 millones de personas.

Para el año 2020, los cinco países en desarrollo más grandes -Brasil, China, India, Indonesia y Rusia- superarán en un 50% en cuanto a comercio mundial a la Unión Europea, la cuál, actualmente es tres veces mayor.<sup>3</sup>



Sin embargo quedó demostrado que un crecimiento rápido de la población no implica necesariamente unos niveles de vida per cápita más bajos, si la productividad se incrementa a un ritmo igual o mayor.

La explosión tecnológica está teniendo lugar de forma abrumadora en las sociedades económicamente avanzadas, muchas de las cuales poseen poblaciones de crecimiento lento o incluso decreciente.

A mediados del siglo XX la industrialización aumentó más deprisa, casi el triple, alcanzando a muchas más áreas. Unida al empleo creciente del carbón, se produjo una expansión aún más espectacular en el uso de los gasóleos, el consumo per cápita de cobre, energía, carne, acero y madera prácticamente se ha doblado; la propiedad de vehículos per cápita se ha cuadruplicado; el uso de plásticos por persona y el consumo mundial de cemento factor fundamental que está haciendo inhabitable el planeta se ha quintuplicado; el consumo de aluminio per cápita se ha multiplicado por siete y el uso del avión se ha multiplicado por 33.<sup>4</sup>

Miles de aviones y barcos, así como millones de vehículos motorizados, han soltando sus emisiones a la atmósfera, al mismo tiempo que han enlazado las diferentes partes del planeta y transportan cada vez más personas a regiones que hasta hace poco eran indemnes.

Al entrar a la década de 1990, las tendencias se han intensificado; desde la década de 1950 la población mundial ha crecido más del doble y la actividad económica mundial más del cuádruple.<sup>5</sup>

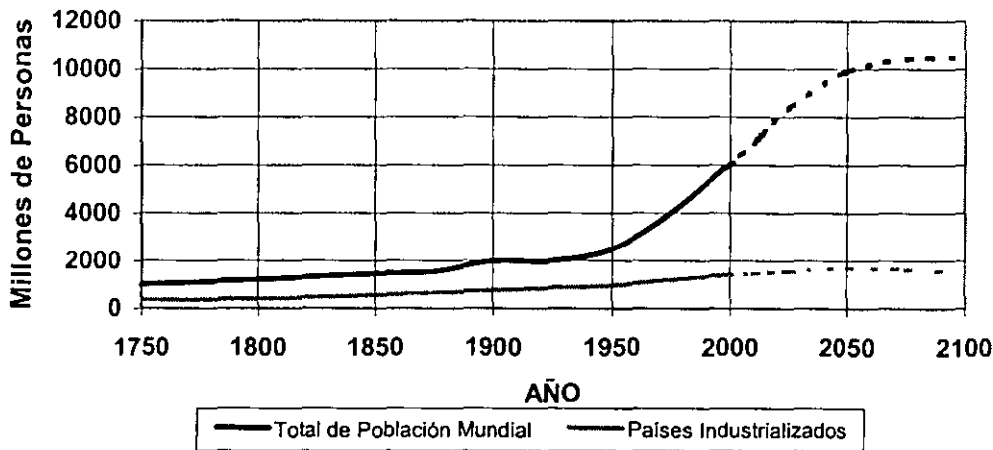
Fábricas, plantas de montaje, redes de carreteras, aeropuertos y complejos de viviendas nuevos no sólo reducen la cantidad de tierra natural sino que contribuyen a la demanda de una mayor cantidad de energía así como de automóviles y camiones, infraestructura, alimentos, papel y embalajes, extracción de minerales, entre otros incrementando todo esto el daño ecológico.

Mientras tanto, en muchos países en vías de desarrollo, la presión demográfica está produciendo un agotamiento en los recursos naturales locales justo cuando se necesita una mayor producción y explotación de éstos, por lo que la comunidad global actual se enfrenta a un desafío mucho más grande, ya que las tecnologías avanzadas amenazan con socavar las economías de las sociedades en vías de desarrollo.

Un cálculo del Banco Mundial indica que la población total de la Tierra puede estabilizarse entre los 10,000 y 11,000 millones de personas en la segunda mitad del siglo XXI aunque para otros el total es más alto; 14,500 millones.<sup>6</sup>

Tan sólo en los países en vías de desarrollo, tendrá lugar alrededor del 95% del total del crecimiento demográfico global entre el año 2000 al 2025 como se muestra a continuación.

**Gráfica No. 1.1 INCREMENTO MUNDIAL DE POBLACIÓN PARA EL PERÍODO 1750-2100**



Fuentes: The economist, 20 de enero 1990, pág. 19 y Almanaque Mundial Nuevo Milenio 2000, Ed. Televisa

Como podrá observarse la población africana se habrá duplicado para el 2025, la asiática para el 2025 se incrementará aproximadamente en 1500 millones, la población europea a partir del 2010 empezará a experimentar los efectos del decremento demográfico y su población se empezará a caracterizar por personas adultas y de la tercera edad, mientras tanto en América se espera un crecimiento constante pero no tan acelerado como en África ó Asia.

En algunos países africanos se disparará su población para el 2025 como en el caso de Nigeria de casi 113 millones para el 2000 a 301 millones en el 2025, Zaire de aproximadamente 51 millones a 99 millones solo por mencionar algunos.<sup>7</sup>

En Asia, en especial en China pasará de 1,261,480,000 habitantes a 1,500 millones para el 2025, mientras que la población de la India, con un crecimiento más acelerado, se espera que pase de 1,012,909,000 a 1,450 ó 1,500 millones para el mismo periodo, siendo posiblemente que, **por primera vez en la Historia, este país sea el más poblado del mundo**, hasta el 2020 se espera que haya un crecimiento en el consumo de energía de poco más de 80 trillones de BTU como se muestra en la tabla 2.1.

Esto se debe a que el gobierno de China, si lleva un control de natalidad mientras que el gobierno de la India por más que ha intentado controlar este problema solo ha demostrado que todo esfuerzo ha sido en vano.

**Tabla No. 1.1 Crecimiento de Población Mundial**

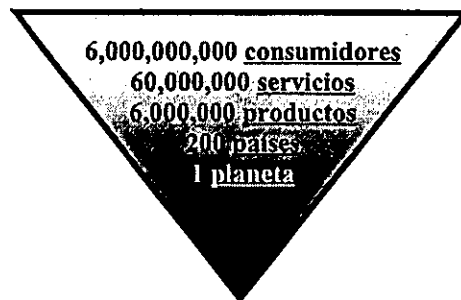
<b>CONTINENTE ó REGIÓN</b>	<b>1996</b>	<b>2010</b>	<b>2025</b>
<i>AMÉRICA DEL NTE.</i>	388,073,000	444,914,000	512,000,000
<i>AMÉRICA CENTRAL</i>	68,302,000	86,419,000	109,500,000
<i>AMÉRICA DEL SUR</i>	317,846,000	380,296,000	432,000,000
<i>AMÉRICA</i>	774,221,000	911,629,000	1,053,500,000
<i>ÁFRICA</i>	720,363,000	1,009,616,000	1,538,000,000
<i>ASIA</i>	<b>3,499,626,000</b>	<b>4,215,212,000</b>	<b>5,017,000,000</b>
<i>EUROPA</i>	729,370,000	746,952,000	731,000,000
<i>OCEANÍA</i>	28,956,000	34,364,000	39,000,000
<i>ANTÁRTIDA</i>	0	0	0
<b>TOTAL (habitantes)</b>	<b>5,752,536,000</b>	<b>6,917,773,000</b>	<b>8,378,500,000</b>

Fuente: Almanaque Mundial Nuevo Milenio 2000, Ed. Televisa págs. L-2 a L-2

Con todo, fuentes oficiales estiman que, de no ser por el control demográfico, entre 1970 y 1990 habrían nacido 240 millones más de Chinos.<sup>8</sup>

Además de estos gigantes demográficos, hacia la tercera década del próximo siglo habrá otros países con niveles demográficos sin precedentes: Pakistán con 267 millones, Indonesia, con 263 millones, Brasil con 245 millones, Irán con 122 millones, México de 98,881,000 a 150 millones en el 2025; tan solo en 25 años se espera un incremento de un poco más del 50%<sup>9</sup>

Detrás de estas estadísticas brutas está la realidad: seres humanos, cada uno con requerimiento de entre 2000 y 3000 calorías y dos litros de agua así como de servicios y gran cantidad de productos, que de alguna forma tienen directa o indirectamente requerimientos de energía.



**Figura 1.1**

Fuente: Bentley and Leeuw, Sustainable Consumption Indicators (EOLSS), 2000

La pobreza masiva tanto en el campo como en las ciudades, es cada vez más preocupante debido a la tendencia a abandonar la sociedad agrícola. En 1985, alrededor del 32% de la población del mundo en vías de desarrollo vivía en áreas urbanas, pero se espera que esa cifra se eleve al 57% en el 2025, o sea 4,100 millones. Latinoamérica será la región más urbanizada del mundo, con casi el 85% de la población viviendo en ciudades; en África, la cifra será de 58% y en Asia de 53%.

En lo que se refiere a la fuerza de trabajo de los países en vías de desarrollo, a principios de los 90's era de 1,769 millones de personas la cual se elevará a más de 3,100 millones para el 2025 lo que implicará que serán necesarios entre 38 y 40 millones de nuevos puestos de trabajo anuales.<sup>10</sup>

Existe un factor aleatorio que podría afectar de modo significativo estas proyecciones estadísticas: las epidemias tales como el SIDA u otras.

Estudios realizados y publicados en agosto de 1990 por la Organización Mundial de la Salud, calculó que en algunos países africanos entre el 25% y el 30% de las mujeres embarazadas eran seropositivas al tiempo que demostraron que familias enteras padecen la enfermedad.<sup>11</sup>

En cuanto al aspecto económico, en años recientes, algunos países han imitado el modelo británico de hace dos siglos. Son las economías más recientes de la industrialización como Singapur, Taiwán, Corea del Sur y Malasia, estimulados por el fabuloso crecimiento económico del Japón, con unos PIB que en las últimas décadas han crecido a un ritmo superior al 10% anual ( lo cual implica una duplicación cada 7 años), además

de aumentar los niveles de vida, las tasas de fecundidad globales de Asia oriental han caído en picada como el caso de Singapur del 3.5 en 1965-1970 al 1.7 en 1998, Corea del Sur, 4.5 al 2.0 para el mismo período.

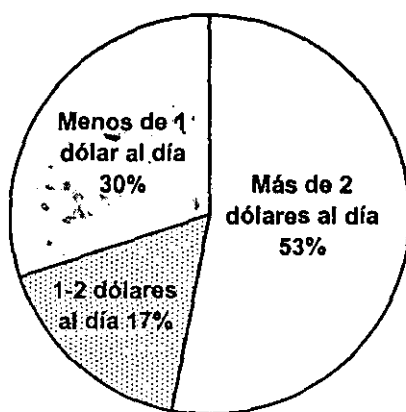
Puesto que más del 95% del aumento demográfico previsto hasta el 2025 tendrá lugar en los países en vías de desarrollo, al parecer el principal problema está y estará ahí.

Mientras tanto, en las regiones desarrolladas del norte, se ejerce una presión per cápita mucho mayor sobre los recursos terrestres que en los países en vías de desarrollo, sencillamente porque los primeros consumen muchísimo más. Así pues, durante el cuarto de siglo tras la segunda guerra mundial, el consumo americano per cápita se incrementó un 6%, mientras que la contaminación per cápita se incrementó más de 700%. Los Estados Unidos, con el 4% de la población total del planeta, consume más del 25% de la energía mundial y de las materias primas que quedan todavía en la tierra.<sup>12</sup>

Así, el consumo de petróleo en Estados Unidos equivale al 25% de la producción mundial anual once veces lo que Gran Bretaña o Canadá y centenares de veces lo que la mayor parte de los países del Tercer Mundo; el mismo desequilibrio en el consumo se da en una serie de otros artículos, desde el papel hasta la carne.<sup>13</sup>

Según cálculos, un niño estadounidense medio representa un daño medioambiental que es dos veces el de un niño sueco, tres veces al de uno italiano, 13 veces al de uno brasileño, 35 veces al de uno indio y 280(!) veces al de uno chadiano y haitiano, porque el nivel de consumo a lo largo de su vida será mucho mayor,<sup>14</sup> ésto se debe a que su nivel de vida es mucho mejor; sin embargo, un gran porcentaje de la población mundial vive en extrema pobreza como se muestra a continuación:

**Gráfica 1.2 % de Población Mundial  
(6,000 millones de personas) vs. dólares que ganan al día**



**¿Qué implicaciones tiene esto, desde el punto de vista de la energía?**

Que no es posible invertir en nuevas tecnologías en países donde la inversión sería prácticamente imposible recuperar, ya que la gente tiene primeramente que subsistir.

Quizá la estadística más apremiante es la que muestra que, si bien las **democracias industriales** representaban más de la quinta parte de la población de la Tierra en 1950, en 1985 descendieron hasta

representar **la sexta parte**, y se prevé que se reduzcan a menos de **una décima parte** en el año **2025**. Hacia esa fecha, tres de ellas (Estados Unidos, Japón y Alemania) estarán entre los 20 países más poblados, mientras que el resto de las democracias industriales será considerado casi como pequeños países.<sup>15</sup>

En lo concierne a la **tecnología**, debido a la capacidad cada vez mayor de los ordenadores, el software, los satélites, los cables de fibra óptica y las transferencias electrónicas a alta velocidad, los mercados globales no podrían actuar como uno solo, y tanto la información económica como la de cualquier otro tipo no podría entregarse instantáneamente a los miles de millones de individuos conectados a este sistema de comunicaciones global, los cuales hoy día, son totalmente **dependientes de la energía eléctrica**.

Por otro lado, la **producción agrícola global**, se expandía sin problemas de 1950 a 1984; la producción de cereales aumentó 2,6 veces, una cifra superior al incremento de la población global.

Se cultivaron millones de kilómetros cuadrados adicionales y se introdujeron en la agricultura de todo el mundo máquinas nuevas, más fertilizantes y mejores sistemas de irrigación y rotación de cultivos que requirieron mayor cantidad de energía incluyendo la solar.

Uno de los problemas al cual nos enfrentamos es que, si bien la producción de cereales crece alrededor del 1% de media al año y la población global aumenta un 1.7% anual, pronto se dejarán sentir los resultados predecibles.

Es posible que una de las soluciones a esta problemática sea la **biotecnología** o sea, cualquier técnica que utilice organismos o procesos vivos para crear, ó mejorar plantas y animales, desarrollar microorganismos para usos específicos,<sup>16</sup> y/o los tan polémicos cultivos transgénicos o in vitro, los cuales han sido prohibidos en algunos países.

Por citar un ejemplo en esta área: El Instituto Federal Suizo de Tecnología en Zurich está desarrollando un arroz transgénico rico en betacaróteno que requiere menos agua, insecticidas y energía para su cultivo, que con sólo 300 gramos una persona podrá satisfacer su requerimiento diario de vitamina A; esto es alentador ya que existen 250 millones de personas que padecen grave deficiencia de dicha vitamina.<sup>17</sup>

Se calcula que el planeta ha perdido una quinta parte del manto de la tierra cultivable, otra quinta parte de los bosques tropicales y decenas de miles de especies vegetales y animales. La mitad de las tierras fértiles han desaparecido en los últimos 100 años. El 30% de los bosques y selvas se han deforestado para cultivar en los últimos 30 años. Cada año, un área del tamaño de Bélgica se convierte en desierto, la superficie congelada del Ártico se derrite en esa misma proporción y se pierden 130.000 kilómetros cuadrados de selva tropical. De los 18 millones de kilómetros cuadrados originales, hoy ya sólo quedan menos de la mitad.<sup>18</sup>

Al rededor de un tercio del suelo de la Tierra (desiertos, ciudades asfaltadas) soporta poca actividad biológica, un tercio está formado por bosques y sabanas y el otro tercio es de tierra de cultivos y pastos.<sup>19</sup>

En la actualidad nos encontramos con que en muchos países casi no existen controles sobre la contaminación y el énfasis está puesto en el crecimiento económico y no en la salud y la seguridad públicas. Tan solo China, incrementó su producción de carbón más de 20 veces entre 1949 y 1982, mientras que las emisiones de azufre a partir del carbón y el petróleo casi se han triplicado desde principios de la década de 1960.<sup>20</sup>

Mientras tanto, la tierra irrigada se duplicó entre 1900 y 1950 y se ha incrementado más de dos veces y media desde entonces hasta alcanzar un total global de unos doscientos cincuenta millones de hectáreas, generalmente en países en vías de desarrollo donde el aumento demográfico es mayor como China, Egipto, la India y Perú que dependen hoy de la tierra irrigada para más de la mitad de la producción nacional de alimentos.<sup>21</sup>

Cada año una vasta cantidad de **agua** (estimada en seis veces el flujo anual del Mississippi) se extrae de los ríos, corrientes y acuíferos subterráneos para regar cultivos. Con el tiempo, el resultado ha sido tierras anegadas y saladas, acuíferos degradados y contaminados, reducción de lagos, mares interiores y destrucción de la fauna y los hábitats de los peces.<sup>22</sup>

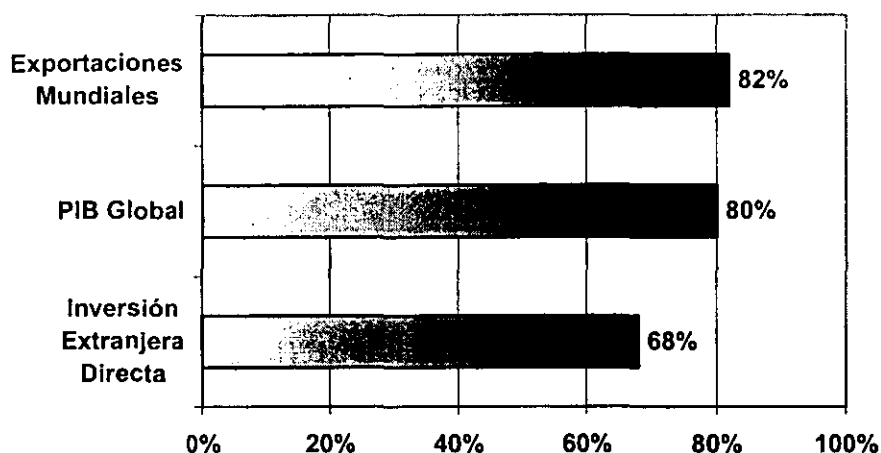
En lo que corresponde a la **producción pesquera mundial** se ha multiplicado por seis en los últimos 50 años. El 70% de los recursos pesqueros marinos están sobre explotados. Las flotas pesqueras son un 40% más grandes de lo que los océanos pueden soportar. Un 25% de las reservas se han reducido y otro 44% están siendo pescadas a su límite biológico.

Como consecuencia de la superpoblación humana, un 25% de los mamíferos del planeta, el 20% de los peces de agua dulce, el 11% de los pájaros y el 9% de los árboles, sufren un considerable riesgo de extinción.<sup>23</sup>

Para algunos países Escandinavos conscientes de la problemática mundial les es fácil desviar parte de su elevada renta per. cápita hacia la electricidad no nuclear o la limpieza de los ríos, pero en sociedades cuyos ingresos medios equivalen apenas a una centésima parte de los de Suecia, resulta mucho más difícil encontrar el capital y el personal calificado para poner en práctica políticas respetuosas con el medio ambiente.

Para darnos una idea de la capacidad económica e industrial de los países del primer mundo se tiene:

Gráfica No 1.3 Potencial Económico de los países industrializados.<sup>24</sup>



Fuente: PNUD, Informe sobre Desarrollo Humano 1999.

**EFEECTO DE INVERNADERO:** Los medio ambientalistas señalan que, por graves que sean los daños locales o nacionales infligidos por la lluvia ácida, el pastoreo excesivo y el agotamiento del agua, ninguno de ellos se acerca a lo que es quizás, la amenaza medioambiental más seria a largo plazo: las actividades económicas humanas están creando un peligroso efecto de invernadero global con consecuencia para todos los ecosistemas de la Tierra.<sup>25</sup>

**En términos termodinámicos,** la Tierra es un sistema cerrado, lo que significa que ninguna materia entra o sale; con excepción de la energía radiada por el sol, los únicos procesos que pueden tener lugar son aquellos en que la materia cambia de una forma a otra ya sea de forma natural o producida por el hombre. Por lo tanto, para que este sistema cerrado funcione de modo indefinido, el proceso de transformación debe, en última instancia, abarcar un ciclo cerrado, con la vuelta de la materia a su forma original: el nuevo recurso se convierte en materia útil que se transforma en residuo que a su vez es absorbido por el ecosistema para convertirse en futura materia prima. Cuando este funciona correctamente, se trata de un maravilloso ciclo de vida autosostenido.<sup>26</sup>

**Impacto Ambiental:** En la última era glacial, la temperatura media de la Tierra fue 9°C más fría que en la actualidad, y el nivel de CO<sub>2</sub> de solo 190-200 partes por millón (ppm.); a principios del siglo XIX el nivel de CO<sub>2</sub> había crecido poco a poco hasta 280 ppm.

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> han aumentado unas 70 ppm durante el último siglo y hoy se suman unas 350 ppm. Más de la mitad de este incremento se ha producido durante los últimos treinta años, lo que indica que las grandes cifras demográficas están afectando a la magnitud de los incrementos.

De continuar el actual índice de crecimiento del 0.3% - 0.4% anual, algunos científicos predicen que los niveles de anhídrido carbónico llegarán a las 550 ó 600 ppm a para el 2050 lo cual conducirá a importantes aumentos de la temperatura media de la Tierra.<sup>27</sup>

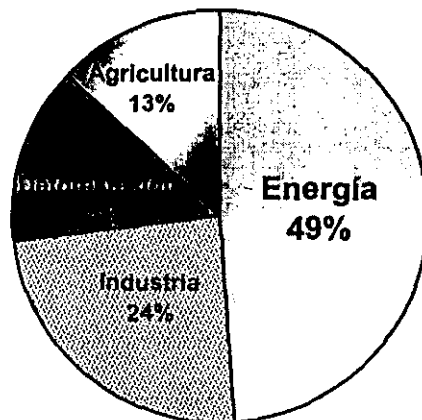
Se ha estimado que a lo largo de la historia, América del Norte ha contribuido un 33,2% al calentamiento global, Europa Occidental un 26,1%, la antigua Unión Soviética un 14,1% y un 26,6% el resto del planeta. Durante los últimos 20.000 años, la temperatura media de la tierra se ha incrementado entre 3 y 5 grados centígrados.<sup>28</sup>

A partir de la revolución industrial, la Humanidad empezó a utilizar grandes cantidades de carbón, petróleo y gas natural para obtener calor, combustible y energía, despidiendo cantidades cada vez mucho mayores de carbono a la atmósfera. La tala y la quema de bosques (para vivienda, pastoreo, cultivo y combustible) también han contribuido en gran medida al proceso: "Quemar un bosque no sólo aumenta los niveles de CO<sub>2</sub>, también reduce la cantidad de vida vegetal capaz de realizar la fotosíntesis".

Los océanos y la biomasa del planeta pueden absorber un total de 13.000 a 14.000 millones de toneladas de dióxido de carbono cada año. Si este "presupuesto" fuera equitativamente distribuido entre los 6.000 millones de habitantes del planeta, cada uno de nosotros tendría el derecho de emitir un poco más de 2.2 toneladas de dióxido de carbono por año, cifra que además debería reducirse según se incrementa la población del planeta.

Los principales sectores que han generado este problema son:

**Gráfica No. 1.4 Contribución de los diferentes sectores al efecto de invernadero**



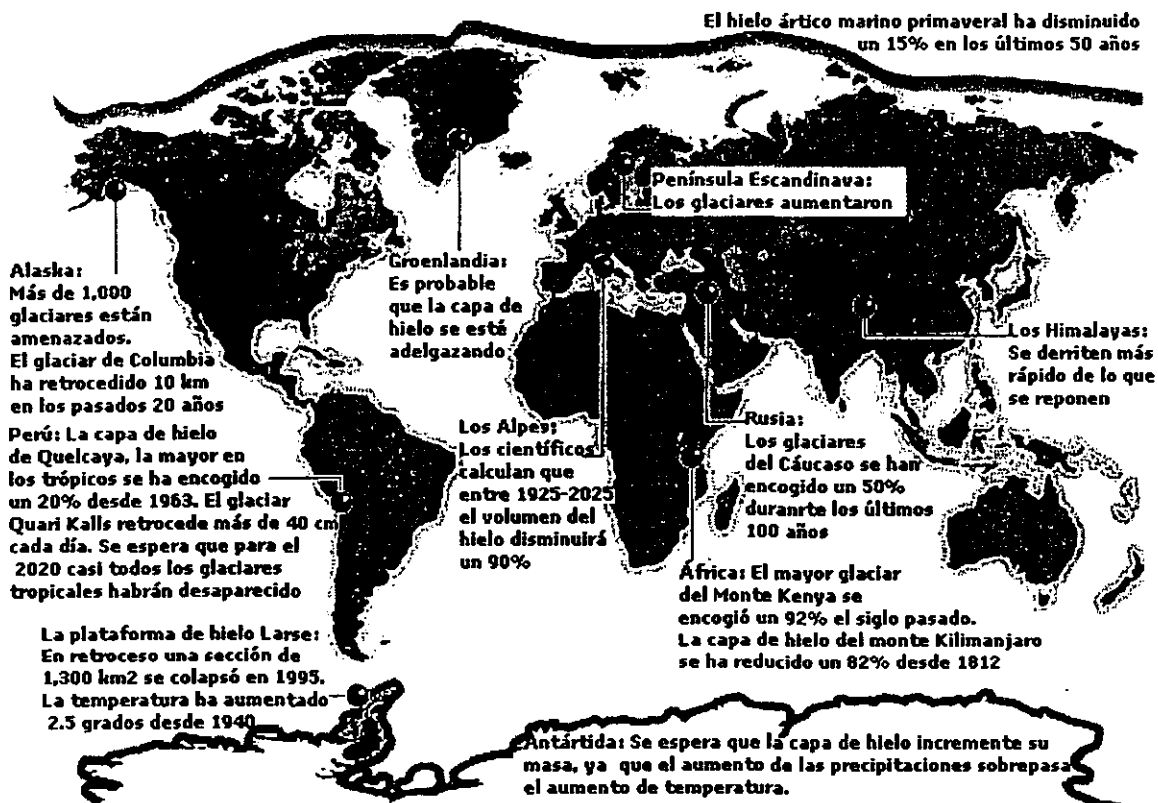
La opinión generalizada entre los científicos es que las temperaturas medias globales son entre 0.3°C y 0.7°C más cálidas que hace un siglo. En apariencia es un incremento mínimo pero creciente debido a un creciente aumento en la población y en sus necesidades. Se estima que una duplicación en los niveles de CO<sub>2</sub> producirá aumentos en las temperaturas medias de entre 1.75°C y 4.25°C para el 2100; si la cifra fuera de 2.5°C ó 3°C, la mayoría de los expertos sostienen que se producirán consecuencias serias aún tomando 1.5°C; el Grupo Intergubernamental advierte sobre un cambio climático; hasta ahora, la tasa de cambio es mayor que la que se ha producido en la Tierra en cualquier época desde el final de la última era glacial.<sup>29</sup>

Esto significa que una Tierra más caliente propiciaría una pérdida neta de la masa de hielo de los glaciares los cuales contienen 90% de todo el hielo de la Tierra liberando a la atmósfera enormes cantidades de metano y CO<sub>2</sub> encapsulados en el hielo desde hace mucho tiempo"; lo cual acelerará el efecto invernadero produciendo un daño ecológico cada vez más perjudicial.<sup>30</sup>



En la última era Glacial los niveles del mar subieron a un espectacular ritmo de unos cinco metros por siglo y cubrieron vastas áreas de tierras.<sup>31</sup>

Mapa 1. 1 Efecto en los glaciares causado por el efecto de invernadero



Fuentes: USGS, centro de datos de EUA de la nieve y el hielo, Asociación Norteamericana para el avance de la ciencia

Sin embargo, debido a la configuración de la masa terrestre, incluso un aumento relativamente pequeño como de un metro sería significativo. Debido a la geometría de las playas y las áreas costeras y a la dinámica de las olas, cabe esperar que una subida de un metro en el nivel del mar produzca una retirada de unos cien metros de la línea costera. Las tormentas empujarán hacia el interior grandes masas de agua, inundando zonas hasta entonces seguras y las aguas marinas penetrarán más tierra adentro y río arriba salinizando los acuíferos de agua dulce.

El calentamiento global podría afectar también a la agricultura provocando que las plantas se marchitasen a temperaturas más altas pero florecerían en latitudes que antes eran demasiado heladas, lo que posiblemente implicaría una redistribución geográfica. Es aquí donde podríamos cuestionarnos:

¿Acaso el efecto de invernadero propiciará una estimulación con mayores niveles de CO<sub>2</sub>, propiciando una mayor producción agrícola, compensando las pérdidas en la vegetación y la producción de alimentos causados en el resto del mundo por el incremento de la temperatura?

De producirse aumentos considerables en el nivel del mar durante este siglo (XXI) como por ejemplo de dos metros en el nivel del mar, los más de 180,000 habitantes de las islas Maldivas resultaría totalmente inundados, mientras tanto, Egipto ya resulta dañado medioambientalmente por la penetración de agua salada debida a la reducción del flujo del agua del Nilo provocada por la presa de Assuán (ver capítulo IV, Energías Renovables en la sección de energía hidroeléctrica.), y solo el 3.5% de su tierra es arable. Una subida de un metro en el nivel del mar le arrebataría entre el 12% y el 15% del territorio y convertiría en refugiados a 8,000,000 de personas, mientras que la pérdida de tierra cultivable daría lugar a escasez de alimentos. Si el nivel del mar subiese un metro, Bangladesh perdería el 11,5% de su tierra, donde hoy viven aproximadamente más de 8 millones de personas en las zonas bajas.<sup>32</sup>

Además, los incrementos de CO<sub>2</sub> afectarán de diferentes modos los diferentes cultivos, favoreciendo a especies de regiones templadas como el trigo y las patatas, pero aportando mucho menos beneficios al maíz y al mijo, que son productos críticamente importantes en África.

Pero lo que más preocupa en este sector es el arroz, cuya fertilidad desciende con rapidez si las temperaturas diarias superan los 35°C. El aumento de 4.25°C del incremento máximo estimado durante este siglo (XXI), harían prácticamente imposible que las actuales cepas de arroz produjeran, lo que causaría en ciertas regiones una hambruna generalizada a menos que su busquen nuevas opciones o se creen genéticamente semillas más resistentes a estos cambios climatológicos. Esto implica un gran reto para países como China donde sólo el 7% de su tierra es cultivable, y deben considerar a largo plazo el efecto de aumento de CO<sub>2</sub> sobre la producción agrícola de aumento del CO<sub>2</sub> producida por su industrialización.

Aunque el daño potencial que el calentamiento global ocasione en los países ricos pueda ser menos severo, sin duda merece que se le considere seriamente.

El esperar temperaturas más elevadas en latitudes medias, en las que se encuentran muchos países prósperos, que proveen de comestibles a un número considerable de la población mundial, pondría en serios aprietos a países consumidores.

Cierto número de estudios prevé que el aumento de la temperatura reducirá la humedad del suelo en regiones como las Grandes Llanuras norteamericanas, Siberia, Europa Occidental y Canadá, donde al deshielo seguirá una evaporación más intensa al aumentar las temperaturas en el verano; también podrían producirse menos precipitaciones primaverales, al menos en la zona de las Grandes Llanuras.<sup>33</sup>

Esto tiene implicaciones globales ya que Estados Unidos, Canadá y Francia producen casi el 75% de las exportaciones de cereales mundiales, con las que cubren las necesidades de países con déficit alimentario y proporcionan una reserva de emergencia para épocas de hambruna. De producirse una reducción en la producción agrícola global, los países con excedentes no resultarán tan dañados excepto en sus balanzas de pagos como los países que necesitan las importaciones. Mientras un país rico como Japón podría pagar con facilidad un precio más elevado por la soja y los cereales escasos, los países amenazados por la pobreza, no.<sup>34</sup>

Muy posiblemente algunas regiones como Ontario y Alberta podrían experimentar mayores rendimientos de maíz, cebada, soja y heno aunque la producción alimentaria en sus regiones meridionales se verán afectada al descender la humedad; <sup>35</sup>También es probable que se produzcan menores rendimientos en las cosechas del norte y oeste de Europa.

Sin embargo, aunque se produzca cierta compensación en un sentido global al aparecer nuevas tierras debido al desplazamiento hacia el polo de las zonas cultivables, es probable que eso no sea suficiente. Por desgracia, en Siberia y el norte de Canadá gran parte del suelo tiene una capa de himus muy delgada y acidificada por siglos de descomposición de agujas de coníferas de modo que, aunque las temperaturas aumenten, es probable que los cultivos no crezcan tan bien en esas regiones como en los ricos suelos de Iowa y Ucrania.

Como podrá observarse, el excesivo consumo de los energéticos como el carbón, petróleo y gas, así como las constantes detonaciones de armas nucleares tanto al aire libre como subterráneas, han liberado enormes cantidades de energía y gases contaminantes como compuestos sulfurados, nitrogenados, metano, dióxido y monóxido de carbono que han acelerado considerablemente el incremento de la temperatura en la Tierra, así como las emisiones exorbitantes producidas por miles de industrias de transformación y vehículos automotores además de las constantes emanaciones provenientes de contaminadores naturales como los volcanes que últimamente han demostrado tener una mayor actividad.

Debido a la explosión demográfica y a la lucha de la humanidad por alcanzar unos niveles de vida más elevados, quizá estemos sometiendo a nuestro ecosistema a más presión de la que pueda soportar.

Es realmente preocupante que por lo general, los gobiernos, los agricultores y los científicos han preferido la política de adaptación, decantándose por cultivos resistentes al calor y la sequía e instalando ambiciosos y modernos sistemas de irrigación, dadas las dimensiones del problema, pero nada de esto parece ser adecuado, ya que **el problema hay que atacarlo a fondo y no de forma.**

Además del problema del aumento de la temperatura causado como resultado de nuestra irresponsabilidad, nos enfrentamos al incremento del agujero en la capa de ozono (15% en dos décadas) provocado por los CFC (compuestos cloro fluoro carbonados) ya que estos reaccionan con el ozono disminuyendo la cantidad que durante millones de años a protegido a los seres vivos de la penetración de los rayos ultra violenta provenientes del sol.

Los expertos señalan que lo que está sucediendo en el polo norte sólo son los efectos de los CFC arrojados a la atmósfera de hace aproximadamente hace 40 años.

Un gran número de países, reunidos en Montreal en 1987 acordaron poner fin a la producción de CFC para finales del año 2000, donde los países más ricos se comprometieron a financiar a los países más pobres el costo de esta transición a las nuevas tecnologías,<sup>36</sup> pero aún así, el daño ya está hecho.

Entre los gases de invernadero se encuentra el metano (CH<sub>4</sub>), el cual tiene entre 20-30 veces más capacidad para absorber calor que el CO<sub>2</sub> y procede de diversas fuentes, como los arrozales inundados, el estiércol de las vacas principalmente en países como la India, y los puercos entre otros.

Las emisiones artificiales de CFC utilizadas desde la década de 1930 en refrigeración, aire acondicionado y aislamiento, son 16,000 veces más eficaces que el CO<sub>2</sub> a la hora de absorber calor, contribuyen en un 20% a los añadidos artificiales a la atmósfera en comparación con el 50% del anhídrido carbónico y alrededor del 16% del metano.

La India y China queman grandes cantidades de carbón que genera anhídrido carbónico y poseen grandes manadas de vacas o cerdos que generan metano, así como los más de 2,000,000 de bioreactores caseros existentes de los que se genera principalmente metano, usado como combustible.

En Brasil, cada año se tala y quema tanta superficie de bosques que han estado generando cantidades enormes de anhídrido carbónico, pero sus contribuciones de metano y CFC son mucho menores.

Sin embargo; existen otros países como Japón que poseen pocas reses pero muchos automóviles y los Estados Unidos, que es el país más contaminante y es un ejemplo en todas estas categorías.

Un programa mundial de forestación y reforestación podría permitir la absorción de grandes cantidades de carbono, un bosque de árboles nuevos se apodera de unas cinco toneladas y media de carbono por hectárea mientras crece, lo cual ayudaría a compensar las cantidades emitidas por la deforestación; actualmente se cortan diez árboles tropicales por cada uno que se planta y en regiones como África es de 29 a 1.

Las fuentes alternativas de energía (eólica, fotovoltaica, geotérmica, biomasa, solar etc.), podrían desarrollarse mucho más extensivamente.

Sin embargo resulta crítico reducir los más de seismil millones de toneladas métricas de carbono que se envían a la atmósfera cada año, ello implica tecnologías con una mayor eficacia energética, desde las simples bombillas, pasando por los motores de automóviles, hasta las fábricas industriales.

Tanto en China como en la India su PNB per cápita es muy bajo, entonces; ¿Cómo puede esperarse que cualquiera de las dos sociedades adopte una vía sin carbono estando en crecimiento sin recibir a cambio una gran ayuda de los países del primer mundo?

En 1990, la Organización de Protección al Medioambiente de los Estados Unidos decía que para estabilizar las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> liberadas en ese entonces, las emisiones de carbono debían reducirse en un 50-80% o sea, al nivel de la década de 1950 cosa que jamás sucedió.<sup>37</sup>

Conforme crecen las necesidades del ser humano, éste se ha hecho cada vez más dependiente de la tecnología sobre todo para poder satisfacer sus necesidades y lograr una mayor eficiencia, que va relacionada directamente con el factor tiempo y energía utilizada para poder dar un mejor servicio, lo cual se traduce en mayores ganancias.

Si tomamos en cuenta que solo transcurrieron casi 50 años en los cuales se obtuvieron grandes logros, durante la década de los 90's con el uso de mejores computadoras y equipo electrónico más sofisticado (microprocesadores, microscopios, equipos de esterilización, estufas de cultivo, equipos que usan sistemas láser para lecturas de alta precisión, sistemas de comunicación más sofisticados como los sistemas tradicionales de cableado, sistemas satelitales, fibra óptica, etc.) ésto no hubiera sido posible sin la participación de la energía para poder crear toda esta tecnología y ponerla a trabajar; éste es sin duda uno de los resultados más positivos del uso de la energía.

## 1.2 PERSPECTIVAS EN MÉXICO

La planta industrial de México está constituida por cuatro sectores:

**Manufacturero; extractivo (minería y petróleo); de la Construcción; y Eléctrico.**

México se ha colocado como el país número 15 más contaminante del mundo.

Datos proporcionados por investigadores de la SEMARNAP (actualmente SEMARNAT), estiman que 79% de las emisiones son producidas por el cambio de uso del suelo con fines agrícolas, por la industria de transformación, por la producción de energía y por la quema de combustible para transporte, pero está lejos de los niveles de contaminación de los países industrializados como Estados Unidos que es el principal contaminante del mundo emite 23.5% del total de las más de 6 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> que se expulsan anualmente a la atmósfera; nuestro país participa sólo con 1.5% del total mundial.

Únicamente en la zona metropolitana de la Ciudad de México se queman diariamente 44 millones de litros de combustible en el transporte, industria, servicios y hogares.<sup>38</sup>

En el país, las emisiones de gases de efecto de invernadero son:

<b>Tabla No.1.2</b>		
<b>SECTOR PRODUCTIVO</b>	<b>TONELADAS ANUALES</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Cambio de Uso de Suelo	135,800	31%
<b>Industria de Transformación y Energía</b>	<b>108,400</b>	<b>24%</b>
Industria	64,900	15%
Residencial y Comercial	23,500	5%
Otros Procesos Industriales	11,600	3%
Otros	5,300	1%
<b>Total</b>	<b>349,500</b>	<b>79%</b>

Fuente: El Sol de México<sup>39</sup>

Por lo que respecta a los desechos peligrosos, 12,514 empresas generan 3,183,251 toneladas anuales y la producción total de este tipo de desperdicios asciende a alrededor de 6 millones de toneladas en todo el país.

Durante 1999 México importó, además, 264,861 toneladas de desechos peligrosos y exportó 33,161 toneladas lo que significa que por cada kilo exportado importamos nueve. Hasta 1997 existían en 20 entidades del país 196 sitios abandonados e ilegales con residuos peligrosos, siendo Nuevo León el que tiene mayor número con 22.

Las muertes por envenenamiento accidental ascendieron a 1085 en 1998, por productos químicos por exposición a sustancias nocivas.

Existen en México 755 especies de flora nativas del país, de las cuales 335 (42%) están en peligro de extinción. De las 506 especies de peces, 11.7% también están en proceso de acabarse, lo mismo 9.2% de las 491 especies de mamíferos.

La superficie total de bosque del país es de 71,263,141 hectáreas, de las cuales sólo están protegidas el 5.05%, es decir 3,596,183. Paralelamente sólo el 42.5% de las regiones forestales cuentan con un plan de manejo forestal.

*El dilema de la energía*  
*Capítulo I "Perspectivas mundiales en el siglo XXI"*

Entre 1980 y 1996 se redujo 11.04% la superficie de las selvas, 11.35% la de matorrales y vegetación desértica y 19.10% la de cuerpos de agua.

En el consumo doméstico de agua es de 216 litros de agua por día y en algunos lugares como Quintana Roo y Oaxaca llegan a 689.1 y 519.4 litros diarios, respectivamente.

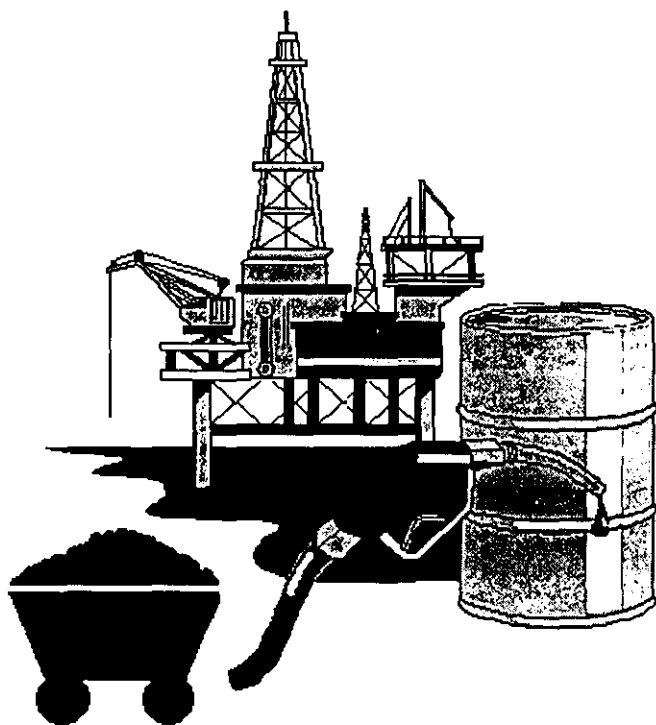
El gasto en protección ambiental asciende a alrededor de 9,000 millones de pesos anuales, cantidad equivalente al PIB del país.

De los alrededor de 4,713,423 pentajoules de energía que se consumen anualmente, menos de 700,000 son provenientes de fuentes energéticas renovables, es decir 16.4%.<sup>40</sup>

La finalidad de hacer este análisis es concientizar que las decisiones que se tomen en el presente, tendrán un impacto ya no regional sino mundial, por lo que en la medida que se emitan más cantidades de energía y contaminantes forzando a los ecosistemas, los resultados se dejarán sentir de una manera impredecible, como los cambios climáticos que hoy estamos presenciando y que a los gobiernos les está costando cientos de miles de vidas y pérdidas económicas ultra millonarias, por lo que es necesario tratar de explotar las fuentes de energía que eviten emisiones que favorezcan tanto al efecto de invernadero como a la lluvia ácida, así como buscar nuevas alternativas que nos permitan crecer en el sector eléctrico con una independencia en el uso del petróleo, gas y carbón y mejor destinar el primero de ellos no como combustible sino más bien para la transformación en productos con un mayor valor agregado en el sector petroquímico para su posterior exportación, y así generar más ingresos de divisas principalmente de origen asiático, sudamericano y europeo, las cuales darían mayor estabilidad en la economía Nacional.

# Capítulo II

## "Fuentes de Energía no Renovables"



## **CAPITULO II**

### **"FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES"**

#### **2.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS**

- **Energía:** Capacidad para realizar un trabajo. Toma formas tales como la potencial, la cinética, la térmica, la química, la eléctrica, la nuclear y la radiante.
- **Energía Potencial:** Se produce por la razón de la posición o configuración de la materia. En ésta destacan las plantas **hidroeléctricas**, que aprovechan la diferencia de altura del agua para generar electricidad.
- **Energía Cinética:** Es la energía en movimiento. En ésta destacan principalmente las plantas **eólicas** para generar electricidad, aunque en todas las plantas como las de ciclo combinado, geotérmicas, hidroeléctricas, nucleares, termoeléctricas, éstas aprovechan el movimiento de un fluido para generar electricidad mediante una turbina conectada a un generador.
- **Energía térmica:** Es la energía del calor. En ésta destacan las plantas termoeléctricas.
- **Energía química:** Procede de la capacidad de los átomos para desarrollar calor al combinarse o separarse. Aquí destacan las baterías.
- **Energía eléctrica:** Viene de la capacidad de los electrones en movimiento para producir calor, radiación electromagnética, y campos magnéticos.
- **Energía nuclear:** Energía liberada por una reacción nuclear ya sea de fisión ó fusión, o por desintegración radiactiva. En ésta destacan las plantas Nucleares.
- **Energía radiante:** Energía en tránsito por el espacio; es emitida por los electrones al cambiar de órbita, y por los núcleos atómicos durante la fisión y la fusión; al chocar con la materia, dicha energía se presenta en forma de calor. Únicamente la energía radiante, puede existir por sí sola; todas las demás formas requieren la presencia de la materia. Aquí destacan los hornos de microondas.
- **Energía Primaria:** Energía presente en las formas naturales como el carbón, petróleo, gas y uranio, antes de su conversión para su uso final.

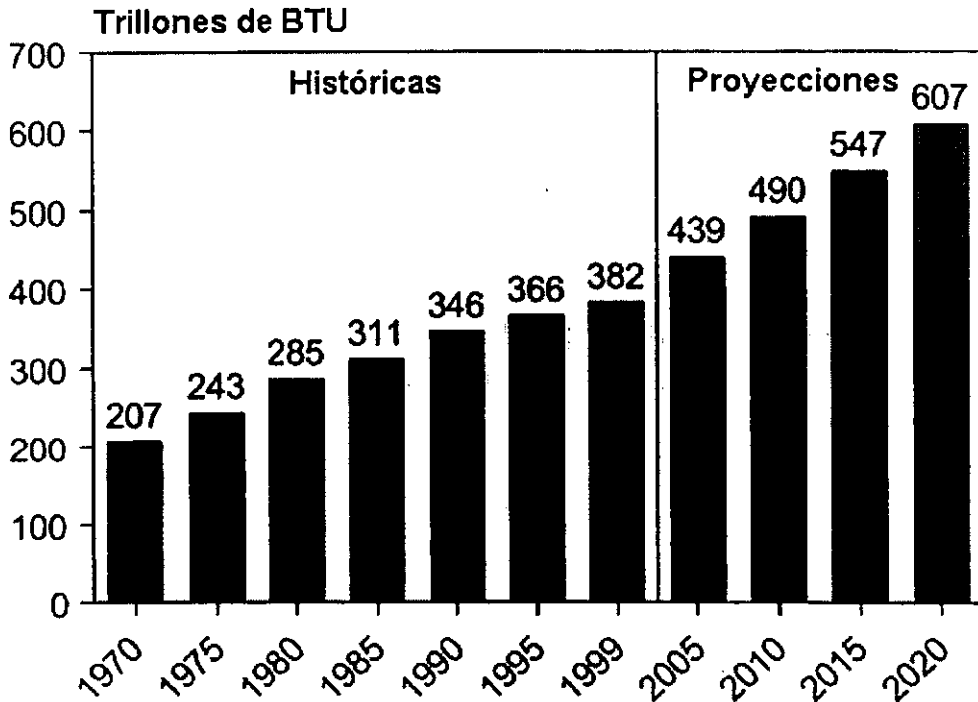
Las proyecciones de los energéticos están basadas en modelos muy confiables y modernos como los reportes presentados por la **Internacional Energy Outlook 2001 (IEO2001)**, por la **Energy Information Administration (EIA)** y por la **Agencia Internacional de Energía (IEA International Energy Agency)**.



## 2.2 FUENTES PRIMARIAS DE ENERGÍA

### 2.2.1 Consumo mundial de energía.

En lo que se refiere a consumo de energía a nivel mundial, éste, se verá incrementado casi un 60 % de 382 trillones de BTU generados en 1999 a 607 trillones de BTU para el 2020 como se muestra a continuación.



Gráfica No.2.1 Consumo Mundial de Energía 1970 al 2020

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System 2001.

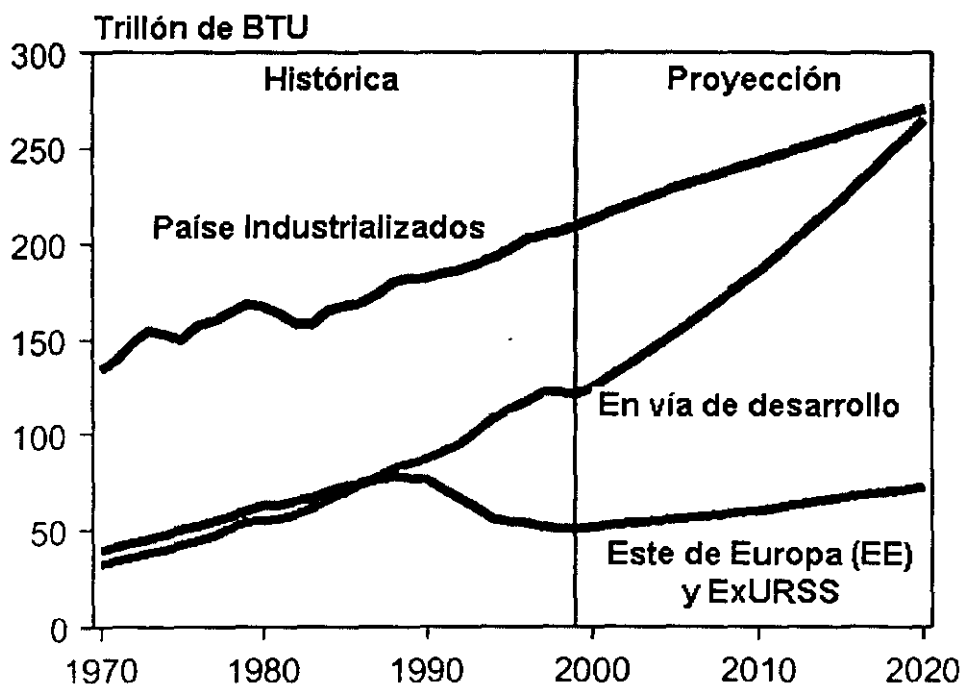
Desde luego el uso excesivo de materias primas como son el carbón, gas y petróleo para la generación de energía, generan emisiones de carbono, favoreciendo el calentamiento terrestre (efecto de invernadero) como se verá más adelante en la sección de impacto ambiental.

La demanda de energía en los países en vías de desarrollo como en Asia, Medio Oriente, Centro y Sudamérica se incrementará en un 117% para el 2020, mientras que el consumo mundial de energía se verá incrementado en aproximadamente 59%; del cual, el 43.5% será consumido por los países en vías de desarrollo; mientras tanto los países industrializados verán un incremento cercano al 29% de energía hasta el 2020 como se muestra a continuación.

**Tabla 2.1 Consumo de energía y las emisiones de carbón por región de 1990 al 2020**

Región	Consumo de Energía (trillón Btu)				Emisiones de Carbón (Millón de Toneladas Métricas)			
	1990	1999	2010	2020	1990	1999	2010	2020
<b>Industrializados</b>	<b>182.4</b>	<b>209.6</b>	<b>243.4</b>	<b>270.4</b>	<b>2,842</b>	<b>3,122</b>	<b>3,619</b>	<b>4,043</b>
EUROPA DEL ESTE (EE)/ExURSS	76.3	50.5	60.3	72.3	1,337	810	940	1,094
<b>En vías de desarrollo</b>								
Asia	51.0	70.9	113.4	162.2	1,053	1,361	2,137	3,013
Medio Oriente	13.1	19.3	26.9	37.2	231	330	451	627
África	9.3	11.8	16.1	20.8	179	218	294	373
Centro y Sudamérica	13.7	19.8	29.6	44.1	178	249	394	611
<b>Total</b>	<b>87.2</b>	<b>121.8</b>	<b>186.1</b>	<b>264.4</b>	<b>1,641</b>	<b>2,158</b>	<b>3,276</b>	<b>4,624</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>346.0</b>	<b>381.8</b>	<b>489.7</b>	<b>607.1</b>	<b>5,821</b>	<b>6,091</b>	<b>7,835</b>	<b>9,762</b>

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).



**Gráfica No.2.2 Consumo Mundial de Energía por Región de 1970-2020**

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

### **2.2.2 Consumo de energía por combustible.**

- En lo que respecta al consumo de **petróleo**, se espera una demanda de alrededor de 113 millones de barriles por día para el 2020, en comparación con aproximadamente 73 millones de barriles diarios extraídos para finales del 2000. Lo que representa un incremento del 35.6% ó 40 millones de barriles que tendrán que extraerse diariamente para el año 2020.

Mientras tanto gran parte del petróleo en los países en vías de desarrollo contribuye con un 42% del consumo en dichos países.

- Otro combustible de gran importancia es el **gas natural** ya que últimamente ha tenido una gran demanda, se espera que exista un incremento de 3.2% anual, tan solo en 1999 se consumieron 84 billones de pies cúbicos y se espera que se incremente a 162 billones de pies cúbicos para el 2020 lo cual significa un incremento en el consumo de hasta 92%.
- Uno de los energéticos de gran importancia es el **carbón**, ya que este se viene usando desde la prehistoria, ya sea en forma de carbón vegetal ó mineral; En 1999, tuvo una caída del 22% comparada a 1985 y se espera que para el 2020 su consumo disminuya a un 19% con respecto al consumo de otras fuentes de energía, de acuerdo a la IEO2001.

Desde luego que este decremento no será mucho ya que mientras los países industrializados disminuirá y se pondrán sanciones más severas por el consumo de este recurso, países como China y la India proyectan aumentar considerablemente el uso de dicho energético hasta de un 90% con respecto a la demanda mundial, ya que, principalmente China, carece de ricos yacimientos de Petróleo y de Gas natural para poder satisfacer la demanda de su población; esperándose un incremento de 2.3 mil millones de toneladas cortas (44%) al 2020.

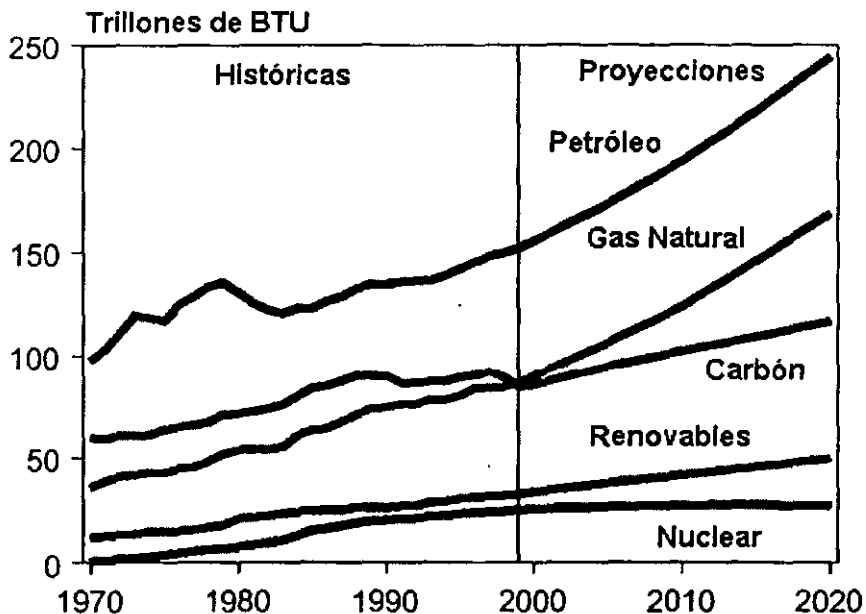
- En el caso de la **energía nuclear**, se espera un incremento de 2.5% anual para la generación de electricidad hasta el 2020. Según la IEO2000 la capacidad nuclear mundial esta proyectada que aumente a 368 gigawatts en el 2010 y empiece a declinar a partir del 2020, produciendo 303 gigawatts en ese año.

Sin embargo, algunos países en vía de desarrollo en Asia estarán incrementando en 30 gigawatts la capacidad nuclear para el 2020; mientras que los países zahones, disminuirán en 64 gigawatts provenientes de reactores nucleares civiles, incluso países como Suecia clausurarán este sector para el 2010, pero en países industrializados como Japón y Francia, harán gran uso de los reactores de regeneración rápida que entraron en operación con fines comerciales durante el año 2000.

- Otro tipo de fuente para la obtención de energía eléctrica, está sustentado en las plantas **hidroeléctricas** y sistemas que trabajan con **recursos renovables**, los que actualmente están tomando gran importancia debido a las restricciones ambientales y a la escasez materias primas no renovables en algunas regiones.

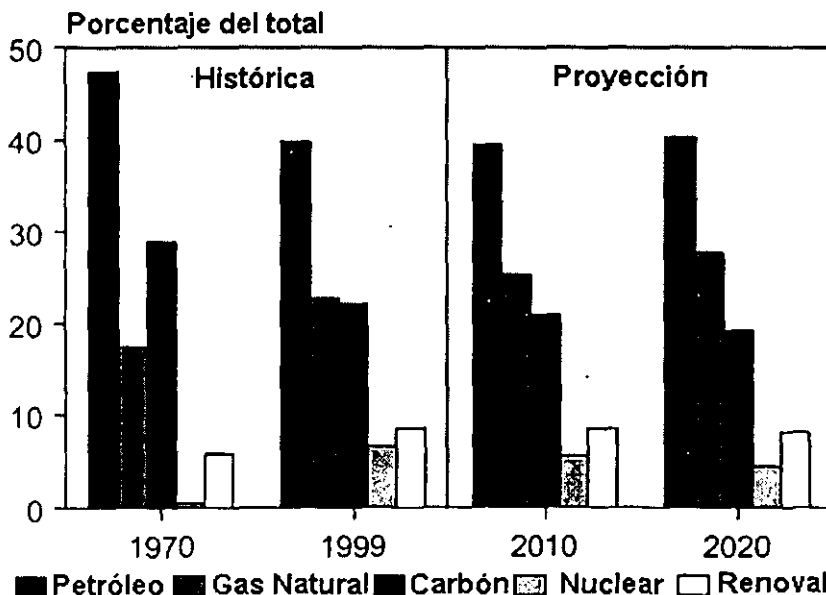
En este sector se espera un incremento del 1.9% anual; al parecer no es mucho, pero mientras existan fuentes de energía más económicas o con un alto valor energético, por el momento no se podrá esperar un incremento notorio en este sector.

A continuación se muestra el consumo de energía por combustible.



**Gráfica No.2.3 Consumo mundial de energía por combustible para el período 1970-2020**

Fuentes: **Históricas:** Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones:** EIA, World Energy Projection System 2001.



**Gráfica No. 2.4 Porcentaje de consumo de energía por combustible para el período 1970-2020**

Fuentes: **Histórica:** Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones:** EIA, World Energy Projection System (2001).

En la gráfica 2.3 puede observarse que la tendencia en el uso del gas natural va en aumento así como la disponibilidad de este recurso tal como se muestra en la gráfica 2.10; por lo que es será interesante invertir en este sector, como se verá más adelante.

Como bien se sabe el consumo de materias primas para la producción de energía esta destinado principalmente, para la generación de energía eléctrica y para el sistema de transporte, como se verá más adelante.

Como podrá observarse en la tabla 2.2, el principal consumidor de energía es los EUA con un 25.8% a nivel mundial, pero tal consumo de energía no refleja una gran población ya que posee poco más del 4% a nivel mundial.

Si bien su economía es muy dinámica y el nivel de vida promedio es bueno, tal parece que carece de conciencia ya que el despilfarro de recursos naturales no justifica el desarrollo tecnológico por el bien de la humanidad, si de por medio está el impacto ambiental ocasionado y la merma en los recursos naturales producidos por otros países.

**"ENERGÍA PRIMARIA 1999"****Tabla No. 2.2 Consumo de Energía Primaria por Combustible**  
(Equivalente a millones de barriles de Petróleo)

País o Región	Variación para El período 1998-1999					1999	1999	1999	1999	1999	1999
	1989	1998	1999	1998-1999	% del total	Petróleo	gas Natural	Carbón	Energía Nuclear	Hydro- eléctrica	Total
<b>Estados Unidos</b>	<b>14130.8</b>	<b>15902.4</b>	<b>16161.9</b>	<b>1.6%</b>	<b>25.8%</b>	<b>6470.9</b>	<b>4070.3</b>	<b>3982.4</b>	<b>1449.1</b>	<b>189.1</b>	<b>16161.9</b>
Canadá	1546.6	1626.5	1669.8	2.7%	2.7%	608.4	471.3	233.8	139.3	217.0	1669.8
México	695.6	907.5	913.3	0.6%	1.5%	595.9	233.8	44.0	19.1	20.5	913.3
<b>Total Norte América</b>	<b>16373.0</b>	<b>18436.4</b>	<b>18745.0</b>	<b>1.7%</b>	<b>30.0%</b>	<b>7675.2</b>	<b>4775.5</b>	<b>4260.2</b>	<b>1607.5</b>	<b>426.6</b>	<b>18745.0</b>
Argentina	311.5	407.5	424.4	4.3%	0.7%	170.1	220.6	6.6	13.2	14.7	424.4
Brasil	667.0	923.6	933.8	1.1%	1.5%	609.9	46.9	82.8	7.3	186.2	933.8
Chile	78.4	148.1	152.5	2.6%	0.2%	85.8	24.9	33.0	-	8.8	152.5
Colombia	131.9	168.6	154.7	-8.1%	0.2%	79.2	34.5	19.8	-	21.3	154.7
Ecuador	35.2	53.5	50.6	-5.9%	0.1%	45.4	0.7	-	-	4.4	50.6
Perú	56.4	70.4	71.8	1.4%	0.1%	54.2	5.9	2.2	-	8.8	71.8
Venezuela	284.4	411.2	410.5	-0.1%	0.7%	160.5	211.1	2.2	-	37.4	410.5
Otros Centro y Sud-América	401.0	513.8	522.6	1.8%	0.8%	398.8	69.6	3.7	-	50.6	522.6
<b>Total Centro y Sud-América</b>	<b>1965.9</b>	<b>2696.7</b>	<b>2720.9</b>	<b>0.9%</b>	<b>4.3%</b>	<b>1603.8</b>	<b>614.3</b>	<b>150.3</b>	<b>20.5</b>	<b>332.0</b>	<b>2720.9</b>
Austria	156.1	187.6	192.8	2.8%	0.3%	88.0	53.5	23.5	-	27.9	192.8
Bélgica y Luxemburgo	398.0	469.9	477.2	1.5%	0.8%	235.3	97.5	50.6	92.4	1.5	477.2
Bulgaria	222.8	146.6	129.0	-12.0%	0.2%	33.0	19.8	45.4	28.6	1.5	129.0
República Checa	395.1	282.9	263.9	-6.8%	0.4%	60.1	57.2	120.2	24.9	1.5	263.9
Dinamarca	120.9	151.0	145.9	-3.6%	0.2%	77.7	33.0	35.2	-	-	145.9
Finlandia	162.0	177.4	178.9	1.0%	0.3%	78.4	24.2	24.2	44.0	8.1	178.9
Francia	1577.4	1826.6	1850.1	1.3%	3.0%	706.6	248.5	103.4	744.0	48.4	1850.1
Alemania	2616.1	2467.3	2425.5	-1.7%	3.9%	970.5	528.5	590.8	321.1	14.7	2425.5
Grecia	170.1	206.0	211.1	2.7%	0.3%	133.4	11.0	63.8	-	2.2	211.1
Hungria	206.0	182.5	175.9	-3.4%	0.3%	51.3	72.6	25.7	26.4	-	175.9
Islandia	8.1	10.3	11.0	6.7%	†	6.6	-	0.7	-	3.7	11.0
Irlanda	60.1	89.4	95.3	6.3%	0.1%	60.8	22.0	11.7	-	0.7	95.3
Italia	1087.0	1186.7	1215.3	2.4%	1.9%	683.9	406.8	91.6	-	32.3	1215.3
Holanda	545.4	620.1	613.5	-1.0%	1.0%	297.6	250.0	59.4	6.6	-	613.5
Noruega	157.6	176.7	181.1	2.4%	0.3%	74.0	24.9	5.1	-	77.0	181.1
Polonia	922.1	685.4	678.8	-1.0%	1.1%	155.4	68.2	452.3	-	2.9	678.8
Portugal	104.8	150.3	162.0	7.9%	0.3%	112.9	14.7	26.4	-	8.1	162.0
Rumania	519.7	284.4	249.2	-12.4%	0.4%	69.6	115.1	42.5	9.5	11.7	249.2
Eslovaquia	153.9	123.9	129.0	3.8%	0.2%	24.9	42.5	35.2	24.9	2.2	129.0

*El dilema de la energía*  
*Capítulo II Fuentes de energía no renovables, "Energía primaria"*

España	653.1	839.3	873.0	4.0%	1.4%	494.0	99.0	148.8	111.4	19.1	873.0
Suiza	307.9	318.1	314.5	-1.2%	0.5%	118.0	5.1	14.7	132.7	44.0	314.5
Suecia	163.5	184.0	183.3	-0.4%	0.3%	92.4	17.6	0.7	46.9	25.7	183.3
Turquía	363.6	536.6	558.5	4.0%	0.9%	212.6	79.2	244.1	-	22.0	558.5
Reino Unido	1550.3	1651.4	1630.2	-1.3%	2.6%	576.9	604.7	262.4	181.8	4.4	1630.2
Otros Europeos	354.0	285.9	255.1	-10.7%	0.4%	121.7	33.7	72.6	8.8	18.3	255.1
<b>Total Europa</b>	<b>12975.6</b>	<b>13240.2</b>	<b>13199.9</b>	<b>-0.3%</b>	<b>21.1%</b>	<b>5535.6</b>	<b>2929.1</b>	<b>2550.8</b>	<b>1803.9</b>	<b>377.5</b>	<b>13199.9</b>
Azerbaiján	162.7	78.4	84.3	6.9%	0.1%	46.2	36.7	-	-	0.7	84.3
Belarús	291.7	174.5	175.2	0.3%	0.3%	73.3	101.2	0.7	-	-	175.2
Kazajstán	522.6	282.9	249.2	-12.0%	0.4%	46.9	52.0	145.1	-	4.4	249.2
Federación Rusa	6366.8	4362.8	4455.2	2.1%	7.1%	925.0	2399.1	801.2	228.7	101.2	4455.2
Turkmenistán	123.9	99.0	107.8	8.3%	0.2%	33.0	74.8	-	-	-	107.8
Ucrania	1716.0	980.8	1004.2	2.4%	1.6%	97.5	481.6	282.2	135.6	7.3	1004.2
Uzbekistán	357.7	379.0	394.4	4.1%	0.6%	52.0	324.7	13.2	-	4.4	394.4
Otros de la ExURSS	519.7	202.3	186.2	-8.1%	0.3%	60.1	67.4	13.2	22.7	22.7	186.2
<b>Total de la ExURSS</b>	<b>10061.2</b>	<b>6559.6</b>	<b>6656.4</b>	<b>1.4%</b>	<b>10.6%</b>	<b>1334.1</b>	<b>3537.5</b>	<b>1255.6</b>	<b>387.0</b>	<b>140.7</b>	<b>6656.4</b>
Irán	477.9	778.4	815.1	4.7%	1.3%	436.9	367.2	7.3	-	2.9	815.1
Kuwait	131.9	119.5	108.5	-9.3%	0.2%	62.3	46.2	-	-	-	108.5
Arabia Saudita	554.1	740.3	763.1	3.1%	1.2%	458.1	304.9	-	-	-	763.1
Emiratos Árabes Unidos	200.1	331.3	337.2	1.9%	0.5%	130.5	207.4	-	-	-	337.2
Otros de Medio Oriente	466.9	731.5	763.8	4.3%	1.2%	488.2	230.9	41.8	-	2.9	763.8
<b>Total Medio Oriente</b>	<b>1831.0</b>	<b>2701.1</b>	<b>2787.6</b>	<b>3.2%</b>	<b>4.4%</b>	<b>1576.0</b>	<b>1156.7</b>	<b>49.1</b>	<b>-</b>	<b>5.9</b>	<b>2787.6</b>
Argelia	167.1	205.2	214.0	4.5%	0.3%	63.8	148.8	1.5	-	-	214.0
Egipto	223.6	293.2	313.0	6.8%	0.5%	203.8	96.8	5.1	-	8.1	313.0
Sudáfrica	654.6	796.0	789.4	-0.9%	1.3%	159.8	-	598.9	28.6	2.2	789.4
Otros países Africanos	463.3	585.7	598.1	2.1%	1.0%	420.0	98.2	49.1	-	30.8	598.1
<b>Total África</b>	<b>1508.5</b>	<b>1880.1</b>	<b>1914.6</b>	<b>1.8%</b>	<b>3.1%</b>	<b>847.3</b>	<b>343.8</b>	<b>654.6</b>	<b>28.6</b>	<b>41.0</b>	<b>1914.6</b>
Australia	633.3	752.1	753.5	0.2%	1.2%	278.5	130.5	333.5	-	11.0	753.5
Bangladesh	47.6	71.8	73.3	1.5%	0.1%	20.5	52.0	-	-	0.7	73.3
China	4823.1	6176.3	5516.6	-10.7%	8.8%	1466.0	141.5	3745.6	30.1	133.4	5516.6
China Hong Kong SAR	88.7	112.9	114.3	1.2%	0.2%	67.4	17.6	28.6	-	-	114.3
India	1277.6	1988.6	2026.0	1.9%	3.2%	694.9	156.9	1099.5	24.2	50.6	2026.0
Indonesia	344.5	565.1	583.5	3.3%	0.9%	337.2	179.6	62.3	-	5.1	583.5
Japón	2991.4	3659.9	3719.2	1.6%	6.0%	1897.0	491.8	670.7	601.1	58.6	3719.2
Malasia	140.7	279.3	278.5	-0.2%	0.4%	127.5	138.5	10.3	-	2.9	278.5
Nueva Zelanda	84.3	98.2	100.4	2.7%	0.2%	45.4	32.3	8.1	-	15.4	100.4
Pakistán	170.8	266.8	272.7	2.2%	0.4%	126.8	118.0	15.4	-	13.2	272.7
Filipinas	92.4	162.7	158.3	-2.9%	0.3%	131.9	-	21.3	-	5.1	158.3
Singapur	142.9	224.3	217.0	-3.2%	0.4%	207.4	10.3	-	-	-	217.0
Corea del Sur	591.5	1220.4	1334.1	9.3%	2.1%	732.3	123.9	279.3	195.0	3.7	1334.1

Taiwán	340.8	565.1	593.7	5.1%	1.0%	292.5	41.0	181.8	72.6	5.9	593.7
Tailandia	184.0	420.7	434.7	3.2%	0.7%	261.7	108.5	62.3	-	2.2	434.7
Otros Asia del Pacífico	371.6	349.6	351.1	0.4%	0.6%	120.2	29.3	170.1	-	30.8	351.1
<b>Total Asia Pacífico</b>	<b>12325.4</b>	<b>16914.0</b>	<b>16527.0</b>	<b>-2.3%</b>	<b>26.5%</b>	<b>6807.4</b>	<b>1771.7</b>	<b>6688.6</b>	<b>922.8</b>	<b>338.6</b>	<b>16527.0</b>
<b>Balance Mundial de Energía</b>											
<b>Primaria</b>	<b>57040.6</b>	<b>62428.1</b>	<b>62551.3</b>	<b>0.2%</b>	<b>100.0%</b>	<b>25379.4</b>	<b>15128.4</b>	<b>15609.2</b>	<b>4770.4</b>	<b>1662.4</b>	<b>62551.3</b>
OECD	32398.6	36566.4	37089.8	1.4%	59.3%	15914.9	8271.9	7906.9	4135.6	859.1	37089.8
Unión Europea 15	9509.2	10341.2	10385.1	0.4%	16.6%	4634.0	2398.4	1506.3	1633.9	211.1	10385.1
Otros †	13330.3	18461.3	18042.8	-2.3%	28.8%	7880.5	3107.9	6251.0	175.9	628.9	18042.8

† Menos de 0.05.

‡ Excluye Europa Central y ExURSS

Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/primary/index.htm>

Nota: Los datos originales están en base a toneladas de petróleo pero se recalcularon en base a barriles de petróleo.



## 2.3 "CARBÓN"

### 2.3.1 Conceptos básicos y tipos de carbón.

Es una roca de fácil combustión que contiene más del 50% de su peso, y más de 70% de su volumen, de material carbonoso, incluyendo la humedad inherente, formada por compactación y endurecimiento de restos de plantas diversamente alteradas. Las diferencias en los tipos de materiales de las plantas explican los tipos de carbón. La diferencia en el grado de metamorfismo explica el rango del carbón.

De acuerdo con la **edad geológica** se puede clasificar el carbón en:

- **Turba** como etapa inicial de la carbonización es de una era geológica reciente.
- **Lignito** como etapa intermedia, es del Terciario o Mesozoico.
- **Carbón Bituminoso y la Antracita**, como etapas más adelantadas de la carbonificación, son habitualmente Carboníferos.

A menudo cuando uno piensa en carbón uno solo se imagina que existe el carbón natural y el vegetal pero como veremos a continuación el carbón natural que se usa como energético proviene de algunos tipos de carbón más específicos; a continuación se da una clasificación de los diversos tipos de carbón existentes en la naturaleza.

**1) Carbón Antracita (carbón duro, carbón de piedra, carbón kilkenny ó carbón negro):** Carbón del más elevado rango metamórfico, en el que el contenido de carbón fijo oscila entre 92-98%. Es duro y negro, tiene un lustre semimetálico y se fractura en forma semiconoidal. Se inflama con dificultad, y arde con una llama corta y azul y sin humo.

**2) Carbón semiantracita:** Contenido de carbono fijo 86-92%, se le sitúa entre carbón bituminoso y carbón de antracita, sus propiedades se asemejan a la antracita.

**3) Carbón semibituminoso (carbón sin humo ó carbón metabituminoso):** Se encuentra entre el bituminoso y el semiantracita. Es más duro y más frágil que el carbón bituminoso; tiene una proporción más elevada de combustible, y arde sin humo. Con un contenido del 89-91.2% de carbono.

**4) Carbón Bituminoso (carbón graso):** Este carbón ocupa un rango entre el subbituminoso y el semibituminoso, y contiene del 15-20% de materia volátil. Su color va del pardo oscuro al negro, y quema con llama humeante. Este tipo constituye el tipo más abundante del carbón y procede de la era carbonífera.

5) **Carbón Subituminoso:** Carbón negro, este tipo de carbón es muy es el más usado para la generación de energía eléctrica. Se le clasifica entre el carbón bituminoso y el lignito. Se distingue del lignito por un contenido más elevado de carbono. En base a su gran valor térmico se puede clasificar en:

- **Carbón subituminoso A de 13,000-10,500 Btu/libra**
- **Carbón subituminoso B de 10,500-9,500 Btu/libra**
- **Carbón subituminoso C de de 9,500-8.300 Btu/libra**

6) **Carbón Lignito(lignito pardo ó carbón pardo):** Carbón parduzco-negro, intermedio en carbonificación entre la turba y el carbón subituminoso y se puede clasificar de acuerdo a su valor térmico en:

- **Lignito A (ó lignito negro) de 8,300-6,300 Btu/libra**
- **Lignito B (lingito pardo ó carbón pardo) menos de 6,300 Btu/libra**

7) **Turba:** Es un depósito no consolidado de restos de plantas semicarbonizadas en un ambiente saturado de agua, de por lo menos 75%. El contenido de carbono es de aproximadamente 60% en de oxígeno 30% aproximadamente. Cuando está seca la turba arde ligeramente.

8) **Carbón de Turba:** Abarca dos materiales:

- a) Carbón de transición entre la turba y el carbón pardo o lignito.
- b) Turba artificialmente carbonizada utilizada como combustible.

9) **Carbón mate, de bujía (ó de ampelita):** Es un carbón compacto sapropélico que contiene esporas, se caracteriza por un lustre mate. Se encuentra en aguas estancadas. La descomposición se produce en situación anaeróbica.

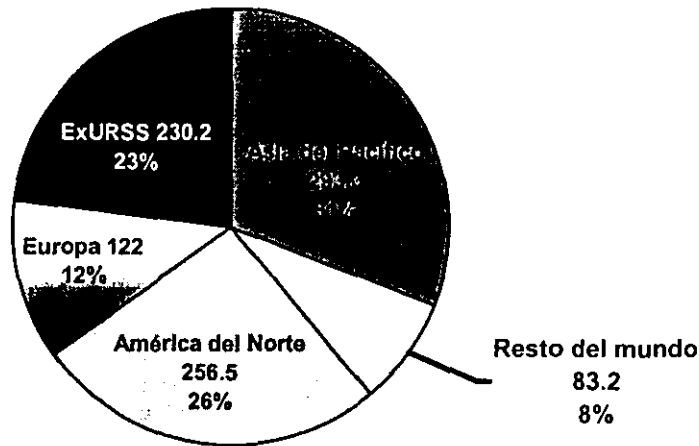
**Tonelada corta:** Unidad igual a 2,000 libras ó 0.9072 toneladas, esta unidad es muy usada en los EUA, Canadá y África del Sur.

### **2.3.2 Reservas mundiales de carbón.**

El 60% de las reservas de carbón se encuentran localizadas en EUA (25.1%), ExURSS (23.4%), China (11.6%) además, hay otros como Australia, India, Alemania, y Sudáfrica (29.2%) dando un total de 89.3%, mientras que las reservas de México apenas son de 0.1%.

Las reservas mundiales estimadas reportadas en el año 2000 son:

**Gráfica 2.5 RESERVAS MUNDIALES DE CARBÓN 1999**  
 (Miles de millones de toneladas)

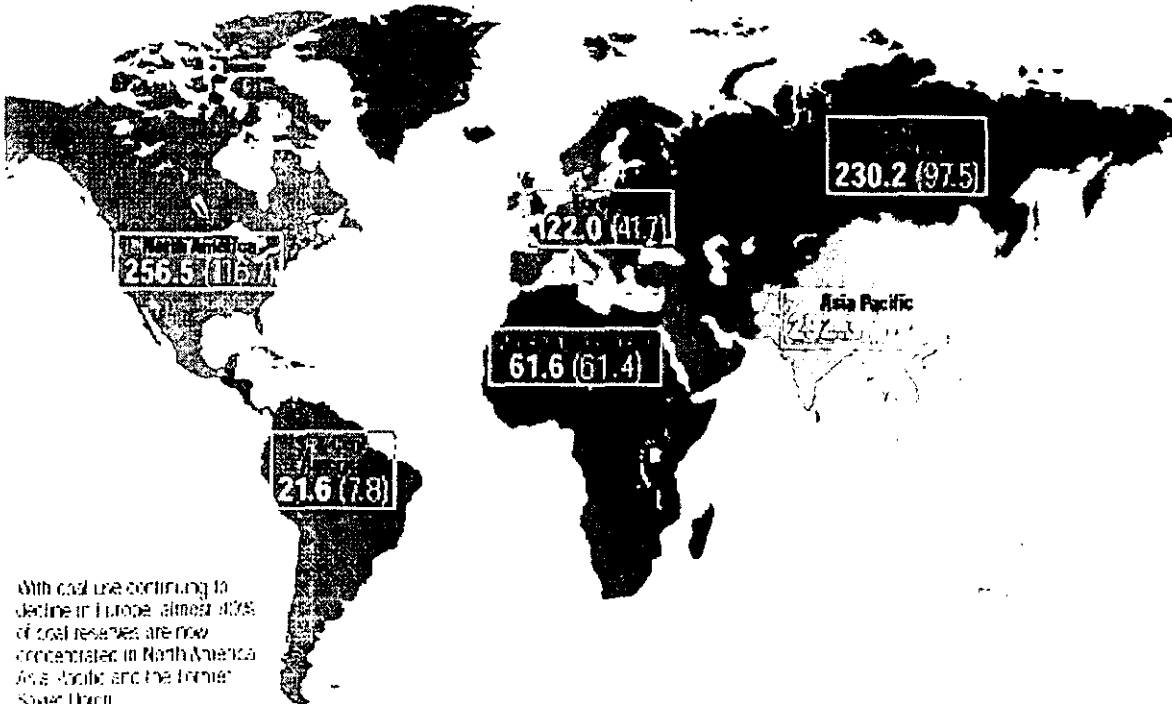


Fuente: Internet (<http://www.bp.com/worldenergy/coal/index.htm>)

Nota: Las reservas estimadas son de 1999 reportadas en el 2000

**Proved reserves at end 1999**

Thousand million tonnes (share of anthracite and bituminous coal is shown in brackets)



**Mapa No. 2.1 Reservas Mundiales Provasdas en 1999 miles de millones de toneladas**

Fuente: Internet (<http://www.bp.com/worldenergy/coal/index.htm>)

Nota: Las reservas estimadas de carbón tipo antracita y bituminoso se reporta en los paréntesis

**Tabla No. 2.3 Reservas Mundiales de Carbón 1999**  
 (Millones de toneladas)

	Antracita y bituminoso	Sub-bituminoso y Lignito	Total	% del total	Reserva/Producción R/P relación = Años
<b>EUA</b>	111338	135305	246643	25.1%	249
Canadá	4509	4114	8623	0.9%	119
México	860	351	1211	0.1%	135
<b>Total de Norte América</b>	116707	139770	256477	26.1%	239
Brasil	—	11950	11950	1.2%	*
Colombia	6368	381	6749	0.7%	206
Venezuela	479	—	479	0.1%	76
Otros S. y Cent. América	992	1404	2396	0.2%	*
<b>Total de S. y Cent. América</b>		13735	21574	2.2%	474
Bulgaria	13	2698	2711	0.3%	100
República Checa	2613	3564	6177	0.6%	105
Francia	95	21	116	†	22
Alemania	24000	43000	67000	6.8%	329
Grecia	—	2874	2874	0.3%	47
Hungria	596	3865	4461	0.4%	307
Polonia	12113	2196	14309	1.4%	83
Rumania	1	3610	3611	0.4%	158
España	200	460	660	0.1%	26
Turquía	449	626	1075	0.1%	16
Reino Unido	1000	500	1500	0.2%	40
Otros Europa	584	16954	17538	1.8%	278
<b>Total de Europa</b>	41664	80368	122032	12.4%	161
Kazajstán	31000	3000	34000	3.5%	*
Federación Rusa	49088	107922	157010	15.9%	*
Ucrania	16388	17968	34356	3.5%	421
Otros de la ExURSS	1000	3812	4812	0.5%	*
<b>Total de ExURSS</b>	97476	132702	230178	23.4%	*
Sudáfrica	55333	—	55333	5.6%	251
Zimbabwe	734	—	734	0.1%	131
Otros de África	5095	250	5345	0.5%	*
Medio Oriente	193	—	193	†	175
<b>Total de África y Medio Oriente</b>	61355	250	61605	6.2%	268
Australia	47300	43100	90400	9.2%	307
China	62200	52300	114500	11.6%	111
India	72733	2000	74733	7.6%	238
Indonesia	770	4450	5220	0.5%	80
Japón	785	—	785	0.1%	197
Nueva Zelanda	29	542	571	0.1%	187
Corea del Norte	300	300	600	0.1%	21
Pakistán	—	2928	2928	0.3%	*
Corea del Sur	82	—	82	†	20
Otros de Asia del Pacífico	251	2275	2526	0.2%	76
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	184450	107895	292345	29.7%	164
<b>Balance Mundial</b>	<b>509491</b>	<b>474720</b>	<b>984211</b>	<b>100.0%</b>	<b>230</b>
OECD	206483	240617	447100	45.4%	221
Otros de EME ‡	205448	78238	283686	28.8%	162

\* Más de 500 años.

† Menos de 0.05.

‡ Excluye Europa Central y ExURSS

Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/coal/index/htm>

## 2.3.3 Producción y consumo.

Tabla No. 2.4

Producción de carbón\*  
(equivalente a millones de toneladas de petróleo)

País ó Region	Producción de carbón*					Variación para 1998-1999	% del total de 1999
	1989	1997	1998	1999	1999		
EUA	533.7	580.3	593.0	580.5	-2.1%	27.6%	
Canadá	39.4	43.3	41.1	39.3	-4.3%	1.9%	
México	3.6	4.9	4.7	4.7	-	0.2%	
<b>Total de Norte América</b>	<b>576.7</b>	<b>628.5</b>	<b>638.8</b>	<b>624.5</b>	<b>-2.2%</b>	<b>29.7%</b>	
Argentina	***	***	***	***	***	***	
Brasil	3.8	3.2	3.1	3.1	-2.2%	0.2%	
Chile	***	***	***	***	***	***	
Colombia	14.4	23.3	21.7	23.6	8.6%	1.1%	
Ecuador	***	***	***	***	***	***	
Perú	***	***	***	***	***	***	
Venezuela	1.4	3.6	3.8	4.1	6.4%	0.2%	
Otros S. y Cent. América		1.2	0.6	0.7	25.9%	†	
<b>Total de S. y Cent. América</b>	<b>21.5</b>	<b>31.3</b>	<b>29.2</b>	<b>31.5</b>	<b>7.5%</b>	<b>1.5%</b>	

Consumo de carbón\*  
(equivalente a millones de toneladas de petróleo)

País ó Region	Consumo de carbón*					Variación para 1998-1999	% del total de 1999
	1989	1997	1998	1999	1999		
EUA	476.9	540.4	543.6	543.3	†	25.5%	
Canadá	27.5	26.8	28.1	31.9	13.5%	1.5%	
México	3.5	5.8	6.0	6.0	-	0.3%	
<b>Total de Norte América</b>	<b>507.9</b>	<b>573.0</b>	<b>577.7</b>	<b>581.2</b>	<b>0.6%</b>	<b>27.3%</b>	
Argentina	1.1	1.0	0.9	0.9	-	0.1%	
Brasil	9.9	11.4	11.3	11.3	0.4%	0.5%	
Chile	2.2	4.2	4.5	4.5	-	0.2%	
Colombia		3.1	2.8	2.7	-2.3%	0.1%	
Ecuador	-	-	-	-	-	-	
Perú	0.2	0.3	0.3	0.3	-	†	
Venezuela	0.3	0.3	0.3	0.3	3.7%	†	
Otros S. y Cent. América	0.5	0.5	0.5	0.5	4.0%	†	
<b>Total de S. y Cent. América</b>	<b>17.5</b>	<b>20.8</b>	<b>20.6</b>	<b>20.5</b>	<b>†</b>	<b>0.9%</b>	

Austria	***	***	***	***	***	***	3.1	3.1	3.0	3.2	6.8%	0.1%
Bélgica y Luxemburgo	***	***	***	***	***	***	9.8	7.5	7.9	6.9	-13.4%	0.3%
Bulgaria	5.9	5.1	5.2	4.6	-10.8%	0.2%	9.8	7.8	8.1	6.2	-23.3%	0.3%
República Checa	40.4	26.0	24.3	21.3	-12.2%	1.0%	36.6	20.9	19.2	16.4	-14.4%	0.8%
Dinamarca	***	***	***	***	***	***	5.5	6.7	5.6	4.8	-14.7%	0.2%
Finlandia	***	***	***	***	***	***	3.2	4.5	3.4	3.3	-1.0%	0.2%
Francia	8.4	4.2	3.5	3.3	-6.3%	0.2%	19.6	13.4	15.7	14.1	-9.9%	0.7%
Alemania	133.6	66.8	61.3	59.6	-2.7%	2.8%	138.2	86.8	84.8	80.6	-5.0%	3.8%
Grecia	7.1	8.1	8.3	8.4	0.7%	0.4%	7.9	7.6	8.8	8.7	-0.5%	0.4%
Hungría	5.6	4.3	4.0	4.0	0.2%	0.2%	6.3	3.7	4.1	3.5	-14.5%	0.2%
Islandia	***	***	***	***	***	***	0.1	0.1	0.1	0.1	17.5%	†
Republica de Irlanda	***	***	***	***	***	***	2.2	2.0	1.9	1.6	-16.5%	0.1%
Italia	***	***	***	***	***	***	14.4	11.0	11.6	12.5	8.1%	0.6%
Holanda	***	***	***	***	***	***	8.2	9.5	9.4	8.1	-13.5%	0.4%
Noruega	***	***	***	***	***	***	0.5	0.6	0.7	0.7	-4.0%	†
Polonia	111.7	88.0	75.8	73.1	-3.6%	3.5%	98.6	70.1	63.8	61.7	-3.3%	2.9%
Portugal	***	***	***	***	***	***	2.4	3.6	3.6	3.6	†	0.2%
Rumania	11.7	6.4	4.9	4.3	-13.5%	0.2%	20.7	8.4	7.0	5.8	-17.3%	0.3%
Eslovaquia	***	***	***	***	***	***	7.4	4.7	4.5	4.8	6.2%	0.2%
España	16.4	12.7	12.2	11.6	-5.4%	0.5%	20.4	17.7	17.7	20.3	15.2%	0.9%
Suecia	***	***	***	***	***	***	1.8	2.1	2.0	2.0	-4.2%	0.1%
Suiza	***	***	***	***	***	***	0.3	0.1	0.1	0.1	-17.6%	†
Turquía	19.3	21.8	24.3	24.4	0.1%	1.2%	24.6	29.0	31.1	33.3	7.2%	1.6%

*El dilema de la energía*  
*Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Carbón"*

Reino Unido	60.7	29.5	25.2	<b>22.8</b>	-9.6%	1.1%	65.0	39.8	40.1	35.8	-10.7%	1.7%
Otro de Europa	24.6	16.7	17.0	<b>17.0</b>	0.5%	0.8%	19.2	12.6	13.1	9.9	-24.4%	0.5%
<b>Total de Europa</b>	<b>445.4</b>	<b>289.6</b>	<b>266.0</b>	<b>254.4</b>	<b>-4.4%</b>	<b>12.1%</b>	<b>525.8</b>	<b>373.3</b>	<b>367.3</b>	<b>348.0</b>	<b>-5.2%</b>	<b>16.5%</b>
Azerbaiyán	***	***	***	***	***	***	0.1	-	-	-	-	-
Belarús	***	***	***	***	***	***	1.3	0.6	0.4	0.1	-75.0%	†
Kazajstán	71.4	37.3	35.9	<b>29.9</b>	-16.8%	1.4%	41.4	22.4	22.9	19.8	-13.5%	0.9%
Federación Rusa	183.1	109.0	103.8	<b>112.6</b>	8.5%	5.4%	194.4	109.7	102.8	109.3	6.3%	5.1%
Turkmenistán	***	***	***	***	***	***	0.3	-	-	-	-	-
Ucrania	91.7	39.8	39.9	<b>42.3</b>	5.9%	2.0%	64.7	38.0	36.9	38.5	4.4%	1.8%
Uzbekistán	***	***	***	***	***	***	4.1	1.9	1.8	1.8	-	0.1%
Otros de la ExURSS	4.3	1.3	1.1	<b>1.1</b>	-	0.1%	6.3	2.6	1.8	1.8	-1.4%	0.1%
<b>Total de ExURSS</b>	<b>350.5</b>	<b>187.4</b>	<b>180.7</b>	<b>185.9</b>	<b>2.8%</b>	<b>8.9%</b>	<b>312.6</b>	<b>175.2</b>	<b>166.6</b>	<b>171.3</b>	<b>2.8%</b>	<b>8.0%</b>
Irán	***	***	***	***	***	***	0.9	0.9	1.0	1.0	5.0%	†
Kuwait	***	***	***	***	***	***	-	-	-	-	-	-
Arabia Saudita	***	***	***	***	***	***	-	-	-	-	-	-
Emiratos Árabes Unidos	***	***	***	***	***	***	-	-	-	-	-	-
Otros de Medio Oriente	***	***	***	***	***	***	2.3	5.4	5.8	5.7	-1.8%	0.3%
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>5.8%</b>	<b>†</b>	<b>3.2</b>	<b>6.3</b>	<b>6.8</b>	<b>6.7</b>	<b>-0.8%</b>	<b>0.3%</b>
Algeria	***	***	***	***	***	***	0.9	0.3	0.2	0.2	-	†
Egipto	***	***	***	***	***	***	0.9	0.7	0.7	0.7	-	†
Zimbabwe	93.4	116.5	119.1	<b>116.7</b>	-2.0%	5.5%	69.5	84.3	83.4	81.7	-2.1%	3.8%
Sudáfrica	3.2	3.3	3.4	<b>3.5</b>	2.4%	0.2%	5.4	6.9	6.8	6.7	-1.2%	0.3%
Otros África	1.4	1.5	1.7	<b>1.9</b>	6.1%	0.1%	5.4	6.9	6.8	6.7	-1.2%	0.3%
<b>Total de África</b>	<b>98.0</b>	<b>121.3</b>	<b>124.2</b>	<b>122.1</b>	<b>-1.8%</b>	<b>5.8%</b>	<b>76.7</b>	<b>92.2</b>	<b>91.1</b>	<b>89.3</b>	<b>-2.0%</b>	<b>4.1%</b>
Australia	98.9	141.8	147.5	<b>149.8</b>	1.5%	7.1%	38.3	45.4	45.9	45.5	-0.9%	2.1%
Bangladesh	***	***	***	***	***	***	0.2	-	-	-	-	-
China	530.2	665.5	625.7	<b>512.1</b>	-18.1%	24.3%	522.7	649.3	614.0	511.0	-16.8%	24.0%
China Hong Kong SAR	***	***	***	***	***	***	6.1	3.5	4.4	3.9	-10.0%	0.2%
India	99.8	146.9	147.6	<b>144.1</b>	-2.4%	6.9%	102.4	152.6	153.4	150.0	-2.2%	7.0%
Indonesia	5.7	33.7	37.1	<b>40.1</b>	8.2%	1.9%	3.6	8.9	8.5	8.5	-	0.4%
Japón	6.8	2.8	2.4	<b>2.6</b>	6.8%	0.1%	75.6	89.8	88.4	91.5	3.4%	4.3%
Malasia	***	***	***	***	***	***	1.2	1.5	1.4	1.4	-3.6%	0.1%
Nueva Zelanda	1.8	2.2	2.2	<b>2.0</b>	-7.8%	0.1%	1.1	1.2	1.1	1.1	-2.9%	0.1%
Pakistán	1.3	1.5	1.6	<b>1.5</b>	-3.6%	0.1%	2.0	2.1	2.1	2.1	-2.2%	0.1%
Filipinas	***	***	***	***	***	***	1.1	2.4	2.7	2.9	6.0%	0.1%
Singapur	***	***	***	***	***	***	-	-	-	-	-	-
Corea del Sur	11.1	2.4	2.3	<b>2.2</b>	-3.7%	0.1%	24.5	34.8	36.1	38.1	5.7%	1.8%
Taiwán	***	***	***	***	***	***	11.6	21.8	23.8	24.8	4.3%	1.2%
Tailandia	***	***	***	***	***	***	2.8	8.7	7.3	8.5	17.2%	0.4%
Otros de Asia del Pacífico	40.2	34.2	32.8	<b>29.9</b>	-8.7%	1.4%	34.6	22.6	24.0	23.2	-3.5%	1.1%

<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>795.8</b>	<b>1031.0</b>	<b>999.2</b>	<b>884.3</b>	<b>-11.5%</b>	<b>42.0%</b>	<b>827.8</b>	<b>1044.6</b>	<b>1013.1</b>	<b>912.5</b>	<b>-9.9%</b>	<b>42.9%</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>2288.8</b>	<b>2289.8</b>	<b>2238.9</b>	<b>2103.5</b>	<b>-6.1%</b>	<b>100.0%</b>	<b>2271.5</b>	<b>2285.4</b>	<b>2243.2</b>	<b>2129.5</b>	<b>-5.1%</b>	<b>100.0%</b>
OECD	1101.1	1039.8	1032.8	1010.2	-2.2%	48.0%	1116.1	1084.0	1083.8	1078.7	-0.4%	50.7%
15 de la Unión Europea							301.7	215.3	215.5	205.5	-4.6%	9.7%
Otros de EME†	797.6	1035.2	999.1	882.2	-11.7%	41.9%	785.7	992.7	960.1	852.8	-11.2%	40.0%

Nota:\* Combustible sólido comercial  
Carbón bituminoso y Antracita (Carbón duro),  
Lignito y carbón café (sub-bituminoso)

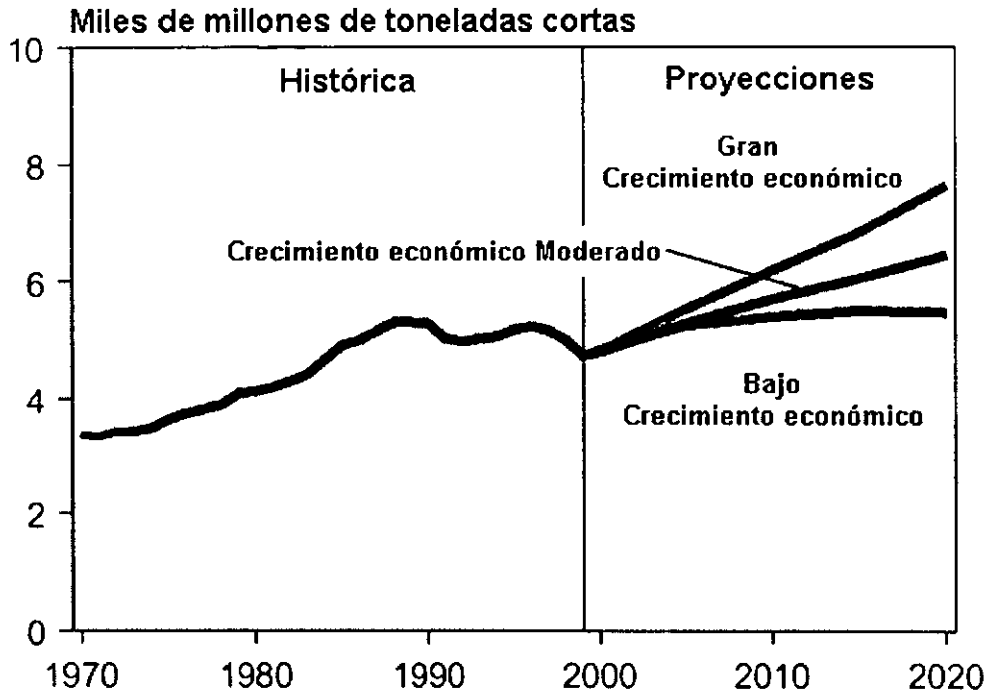
† Menos de 0.05.

Otros incluye \*\*\*

‡ Excluye Europa Central y ExURSS

Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/coal/index/htm>

Se espera que el consumo mundial de carbón se incremente de 4.7 mil millones de toneladas de 1999 a 6.4 mil millones de toneladas para el 2020. De acuerdo con la IEO2000 el consumo de carbón podría pasar a **5,500 millones de toneladas para el 2020**, siempre y cuando todos los países pongan de su parte cumpliendo con el protocolo de kyoto y sustituyendo dicho energético por otras opciones, como se verá más adelante. En caso de no ser así el consumo podría incrementarse hasta **7,600 millones de toneladas para el 2020** como se muestra en la siguiente gráfica, obteniendo una diferencia muy considerable si pensamos en el impacto ambiental que producirán esos **2,100 millones de toneladas** excedentes tan sólo para el año 2020.



Gráfica No. 2.6 Consumo Mundial de carbón para el período 1970-2020

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001) Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

En Asia se espera un incremento de 1,700 millones de toneladas, siendo China y la India los que proyectan una demanda de 29% en el consumo mundial entre 1999 al 2020.

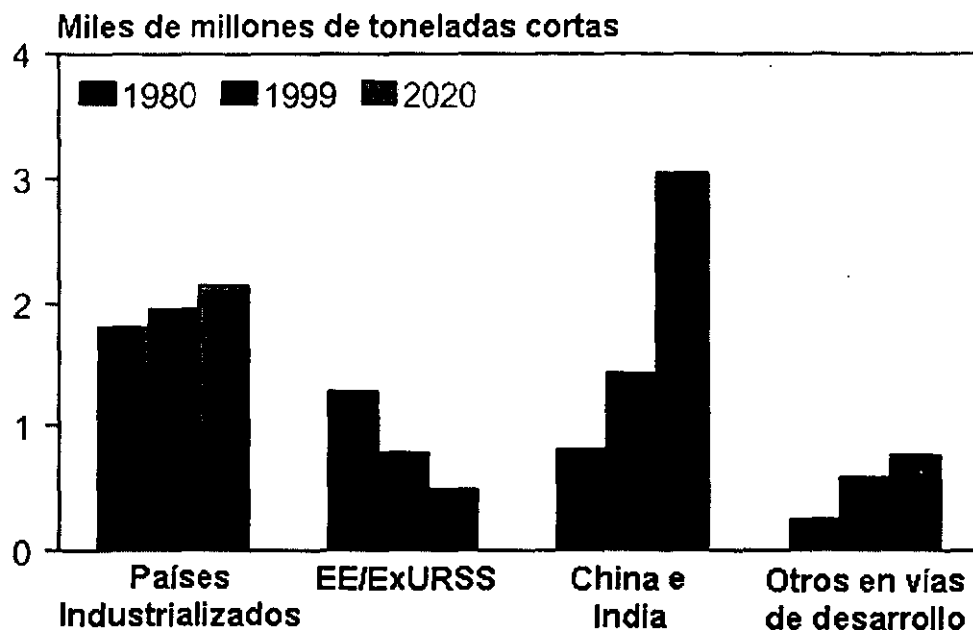
Esto se debe a que, el gobierno Chino ha estimado en incrementar hasta en 180 gigawatts (600 plantas de 300 Megawatts cada una) para el año 2020 y la India con aproximadamente 50 gigawatts (167 plantas de 300 Megawatts cada una) para el mismo año.

Mientras tanto se espera un decremento en la generación de energía eléctrica en el ámbito mundial, mediante carbón, pasando de 32.4% de 1999 a 32% para el 2020.

Por otro lado, en lo referente al impacto que tiene el carbón, las emisiones de dióxido de carbono por unidad de energía obtenida son el 80% más elevado que el producido por gas natural y aproximadamente 20% más que el petróleo.



Mientras tanto, en Asia principalmente en China, el consumo de carbón esperado será de 5.5% anual mientras que para la India será de 3.9% hasta el 2020 como se muestra a continuación.



**Gráfica No. 2.7 Consumo Mundial de Carbón para el período 1980-2020**

**Fuentes:** Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and end Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2000).

El consumo de carbón en China e India tendrá un repunte muy notorio; mientras que países del Este de Europa y la ExURSS , disminuirán el uso de este recurso, ya que las tendencias indican que el uso del gas natural esta siendo más atractivo su uso, principalmente por las ventajas ambientales que presenta con respecto al carbón.

En el sector eléctrico el uso de carbón en China esta proyectado que crecerá en un 207.3% produciéndose tan solo en 1999, 1,084 gigawatt-hora comparados con los 3,331 gigawatt-hora que se espera generar para el 2020.

En comparación, la Generación de electricidad en los EUA se incrementará en 1.9% anual, produciéndose 3,236 gigawatt-hora en 1999, esperándose alcanzar los 4,804 gigawatt-hora para el 2020, lo que supone que tan solo EUA producirá 69.3% más energía que China en el 2020.

Si en 1999 EUA produjo 198.5% más energía que China, se puede deducir que este país experimentará un incremento en su sector industrial de una manera muy rápida como se ha ido observando en la actualidad; Así pues, mas del 55% de la demanda mundial de carbón se usa en el sector eléctrico y el resto para producir vapor en industrias químicas, cemento y de pulpa y papel; lo que conduce a un consumo de energéticos más acelerado pudiéndose adelantar ciertos efectos devastadores producidos por el incremento de carbono a la atmósfera (lluvia ácida), deteriorando más rápidamente la tierra y por ende los cultivos en una región donde la demanda de estos es vital.

Todo esto podría suceder si se sigue basando la economía de dos gigantes Asiáticos en el carbón.

Desgraciadamente, China necesitará quemar suficiente carbón para poder satisfacer sus necesidades energéticas que serán de aproximadamente 17 trillones de BTU para el 2020 comparados con los 5.9 trillones de BTU generados en 1999, mientras que la India tendrá que hacer lo mismo para poder 6.9 trillones de BTU, comparado con los 6.9 trillones de BTU generados en 1999.<sup>1</sup>

Otros países en vías de desarrollo de la región (Indonesia, Malasia, Filipinas, Tailandia y Vietnam), aumentarán en 2 trillones de BTU para el período 1999-2020.<sup>2</sup>

Uno de los países más importantes en el consumo de energía de la región es **Japón**; en el cual, se espera un incremento lento en el consumo de carbón, a un ritmo de 1.4% anual. En 1997 en el sector eléctrico se produjo 1.3 trillones de BTU, esperándose producir 1.8 trillones de BTU para el 2020. El Ministerio de Comercio Internacional de Japón estimó que entre 1997-2007 se necesitarían 24 gigawatts provenientes del quemado de carbón.<sup>3</sup>

Otro país de la región del pacífico que ha venido aumentando el consumo de carbón es Australia, si bien, no tiene grandes yacimientos de gas y petróleo, si los tiene de carbón, ya que cuenta con tan solo 9.2% de las reservas mundiales así como de ricos yacimientos de Uranio.

La participación en el comercio mundial de carbón se ha incrementado de 15% de 1980 a 1999, por lo que se espera un crecimiento de 1.5% anual hasta el año 2020.

En algunos países del mundo el uso del carbón se hace muy necesario mientras que en **países Escandinavos** como Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia actualmente se está compitiendo por el uso de gas natural, ya que los gobiernos de dichas potencias están más concientes del impacto ambiental que genera las emisiones provenientes de la quema de carbón; Además, cuentan con los suficientes recursos para invertir en nuevas tecnologías como el producir energía eléctrica por medio de generadores de viento, aprovechamiento de mareas, entre otros, como se verá más adelante.

El consumo del carbón en países del Este de Europa y la ExURSS cayó 44% y en Europa Occidental en un 42% para el período 1985-1999 y se espera que siga disminuyendo ya que en 1985 este representaba el 27% como fuente de energía primaria, para 1999 el 22% y se espera que llegue a un 19% para el 2020, mientras que el consumo de gas natural se verá incrementado de una manera muy notoria como se ve más adelante.

Al otro lado del mundo, **Estados Unidos** en 1999 consumió 1,045 millones de toneladas (93% de la región) esperando consumir 1,297 millones de toneladas para el año 2020, actualmente el 51% de la generación de energía eléctrica que produce proviene de este recurso.

Este país es sumamente rico en recursos naturales, desgraciadamente es el país que tiene más emanaciones de contaminantes como consecuencia de su economía tan dinámica.

Uno de los recursos del cual carece es el petróleo, pero tienen la opción de sintetizarlo a partir de carbón, como en Sudáfrica.

EUA ha hecho muchos estudios relacionados en este tema sobre todo a partir de la crisis petrolera de los años 70's..

Por el momento han preferido comprar petróleo de otros países inyectándolo a sus pozos, propiciando el agotamiento de los recursos de otras naciones, atesorando una reserva estratégica de 569 millones de barriles, siendo esta la número uno del mundo, ya que ningún país o bloque posee; evitando usar su carbón, para

sintetizar petróleo, ya que en un futuro podrían ser quienes sinteticen y exporten petróleo a las naciones como México de las cuales tuvo que importar inicialmente durante un periodo.

Otra opción que tienen es que poseen grandes reservas de gas, siendo este un recurso que tendrá gran importancia por las ventajas que presenta como se verá más adelante.

En África se espera que el consumo de carbón se incremente en aproximadamente 39 millones de toneladas hasta el 2020, cabe hacer resaltar que en sólo 2 años las proyecciones variaron de 25 a 39 millones de toneladas, esto se debe a que existe un crecimiento demográfico desmedido en la región.

En esta región la situación económica no es muy alentadora, por lo que meter infraestructura de gas por el momento no es muy viable, por lo que la gente recurre fácilmente al uso de carbón vegetal devastando grandes extensiones de selva y deforestando otros ecosistemas de la región, mientras que países como Sudáfrica han aprovechado éste, como ya se vio anteriormente.

En el **Medio Oriente** el uso de carbón casi no se hace patente ya que sus ricos yacimiento de gas y petróleo con que cuentan les asegura tener materia prima para la producción de energía por los próximos 100 años y en algunos casos como Irak hasta 500 años.

A continuación se muestra una tabla en la que se puede visualizar las exportaciones e importaciones de carbón de diversos países.

**Tabla No. 2.5 Importadores de carbón de diferentes regiones para los años 1999, 2010 y 2020**  
 (millones de toneladas cortas)

Exportadores	Vapor				Coqueado				Total			
	Europa <sup>a</sup>	Asia	América	Total	Europa <sup>a</sup>	Asia	América	Total	Europa <sup>a</sup>	Asia	América	Total
<b>1999</b>												
Australia	12.3	76.2	1.3	87.4	23.3	69.7	6.7	102.	35.6	145.8	8.0	189.4
EUA	4.9	4.5	17.1	26.5	19.4	4.1	8.7	32.2	24.3	8.6	25.8	58.6
Sudáfrica	49.3	19.0	1.7	70.2	0.9	0.8	0.8	2.9	50.2	19.7	2.4	73.1
ExURSS	12.1	4.9	0.0	17.0	2.6	2.9	0.0	5.5	14.7	7.7	0.0	22.5
Polonia	14.0	0.0	0.0	14.0	3.3	0.0	0.7	3.9	17.3	0.0	0.7	18.0
Canadá	0.1	4.5	0.7	5.4	6.9	20.1	2.8	31.9	7.1	24.6	3.4	37.3
China	3.4	31.5	0.4	33.7	0.2	6.9	0.0	7.2	3.6	38.4	0.4	40.9
Sud-América <sup>b</sup>	25.8	0.0	9.3	38.7	0.6	0.0	1.4	1.8	26.3	0.0	10.7	40.5
Indonesia	10.7	40.3	3.2	57.2	1.3	8.6	0.4	11.1	12.0	48.9	3.6	68.3
<b>Total</b>	<b>132.6</b>	<b>180.9</b>	<b>33.8</b>	<b>350.1</b>	<b>58.5</b>	<b>113.0</b>	<b>21.5</b>	<b>198.3</b>	<b>191.1</b>	<b>293.8</b>	<b>55.1</b>	<b>548.4</b>
<b>2010</b>												
Australia	10.2	121.5	0.8	132.4	31.8	82.0	8.0	121.7	42.0	203.4	8.8	254.2
EUA	5.0	7.7	9.7	22.4	18.9	1.3	15.0	35.2	23.8	9.1	24.7	57.6
Sudáfrica	49.6	28.9	4.6	83.0	1.0	6.1	0.0	7.1	50.5	35.0	4.6	90.1
ExURSS	12.1	2.8	0.0	14.9	1.5	0.0	0.0	1.5	13.7	2.8	0.0	16.4
Polonia	8.0	0.0	0.0	8.0	3.6	0.0	0.0	3.6	11.7	0.0	0.0	11.7
Canadá	5.1	3.3	0.0	8.4	4.6	20.1	2.8	27.4	9.6	23.4	2.8	35.7
China	1.2	65.1	0.0	66.4	0.0	8.3	0.0	8.3	1.2	73.4	0.0	74.6
Sud-América <sup>b</sup>	36.5	0.0	34.7	71.2	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	0.0	34.7	71.2
Indonesia	9.0	64.5	0.0	73.5	0.9	4.0	0.0	5.0	9.9	68.6	0.0	78.5
<b>Total</b>	<b>136.7</b>	<b>293.8</b>	<b>49.7</b>	<b>480.</b>	<b>62.3</b>	<b>121.7</b>	<b>25.8</b>	<b>209.8</b>	<b>198.9</b>	<b>415.5</b>	<b>75.5</b>	<b>690.0</b>
<b>2020</b>												
Australia	6.6	129	0.9	136.8	35.8	86.3	12.2	134.3	42.4	215.	13.1	271.1
EUA	2.9	8.6	10.2	21.7	15.2	1.5	17.7	34.4	18.1	10.1	28.0	56.1
Sudáfrica	46.7	38.1	4.2	89.0	0.0	6.6	0.0	6.6	46.7	44.7	4.2	95.6
ExURSS	12.1	3.9	0.0	16.0	1.5	0.0	0.0	1.5	13.7	3.9	0.0	17.5
Polonia	5.5	0.0	0.0	5.5	3.4	0.0	0.0	3.4	8.9	0.0	0.0	8.9
Canadá	5.1	1.6	0.0	6.6	4.3	19.9	1.5	25.7	9.3	21.5	1.5	32.3
China	3.4	70.7	0.0	74.1	0.0	8.8	0.0	8.8	3.4	79.5	0.0	82.9
Sud-América <sup>b</sup>	38.8	0.0	36.9	75.7	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	0.0	36.9	75.7
Indonesia	6.8	77.0	0.0	83.8	0.9	4.1	0.0	5.0	7.7	81.1	0.0	88.8
<b>Total</b>	<b>127.8</b>	<b>329.1</b>	<b>52.2</b>	<b>509.1</b>	<b>61.0</b>	<b>127.3</b>	<b>31.5</b>	<b>219.8</b>	<b>188.9</b>	<b>456.4</b>	<b>83.7</b>	<b>729.0</b>

<sup>a</sup>Los flujos de carbón a Europa incluyen embarques al Medio Oriente y África.

<sup>b</sup>Las exportaciones de carbón provenientes de Sud-América son de las minas de Colombia y Venezuela.

Fuentes: 1999: International Energy Agency, Coal Information 2000 (Paris, France, August 2000); Energy Information Administration, Quarterly Coal Report October-December 1999, DOE/EIA-0121(98/4Q) (Washington, DC, July 2000). Proyecciones: Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2001, DOE/EIA-0383(2001) (Washington, DC, December 2000), National Energy Modeling System run AEO2001.D101600A.

### 2.3.4 Precios de carbón.

**Tabla No. 2.6 Precios de carbón**  
 (U.S. dólares por tonelada)

Año	Precio fijado (base Noroeste de Europa)*	Precio del carbón de EUA Usado para la generación de vapor para la generación de Energía Eléctrica	Cif precio de importación de carbón para Coqueado en Japón	Cif precio de Importación de carbón para generar Vapor en Japón
1987	31.30	35.09	53.44	41.28
1988	39.94	33.77	55.06	42.47
1989	42.08	33.21	58.68	48.86
1990	43.48	33.57	60.54	50.81
1991	42.81	33.10	60.45	50.30
1992	38.53	32.35	57.82	48.45
1993	33.68	31.51	55.26	45.71
1994		30.88	51.77	43.66
1995	44.50	29.78	54.47	47.58
1996	41.25	29.16	56.68	49.54
1997	38.92	28.83	55.51	45.53
1998	32.00	28.26	50.74	40.51
1999	28.79	27.47	42.83	35.74

\*Fuente de Precio fijado: Servicio de Información McCloskey Coal

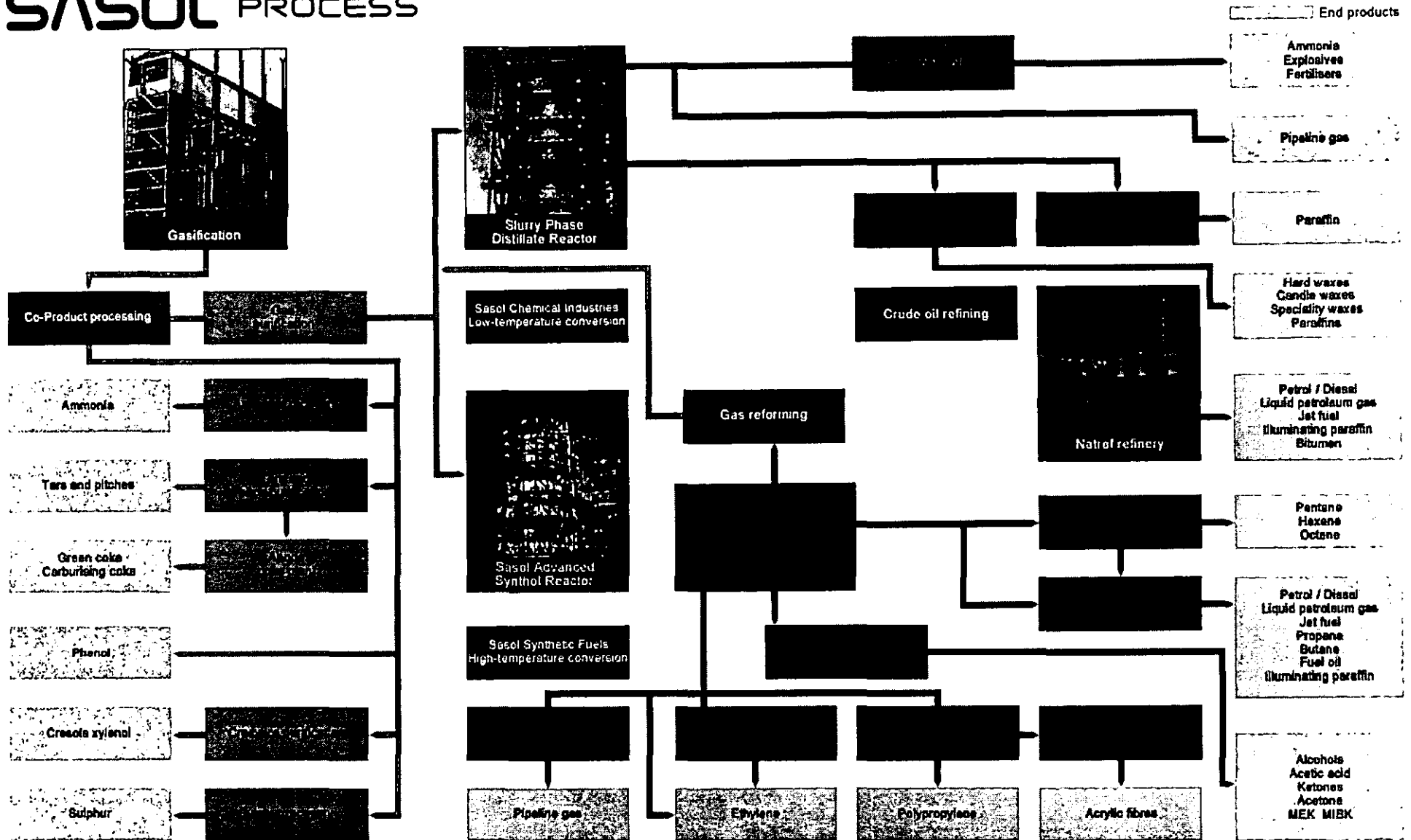
Nota: cif = costo + seguro + flete (precios de carga)

Actualmente con la puesta en funcionamiento de la carboeléctrica de Petacalco, México importa carbón con un costo de 40 dólares por tonelada más 10% por flete.

### 2.3.5 Opción del uso del carbón.

Una de las opciones interesantes está en que actualmente en Sudáfrica existe una planta llamada Sasol donde mediante el proceso Fisher-Tropsch es posible sintetizar petróleo a partir de carbón. Como se muestra en el siguiente diagrama.

# SASOL PROCESS



Copyright © 1988 - 2000 Sasol Limited. All Rights Reserved.

Diagrama No. 2.1 Proceso de la Planta Sasol en Sudáfrica, para la conversión de carbón en petróleo y derivados.

Fuente: petroquímica Sasol en sudáfrica. Internet <http://www.sasol.com>.

Este ejemplo, se puso como muestra de que, si se tiene un poco más de visión, se podría aprovechar mejor los recursos tal como lo demuestra la exitosa empresa Sasol, que hoy en día se coloca como una de las empresas líderes en la producción de diversos productos derivados del petróleo ya que poseen plantas en muchas partes del mundo.

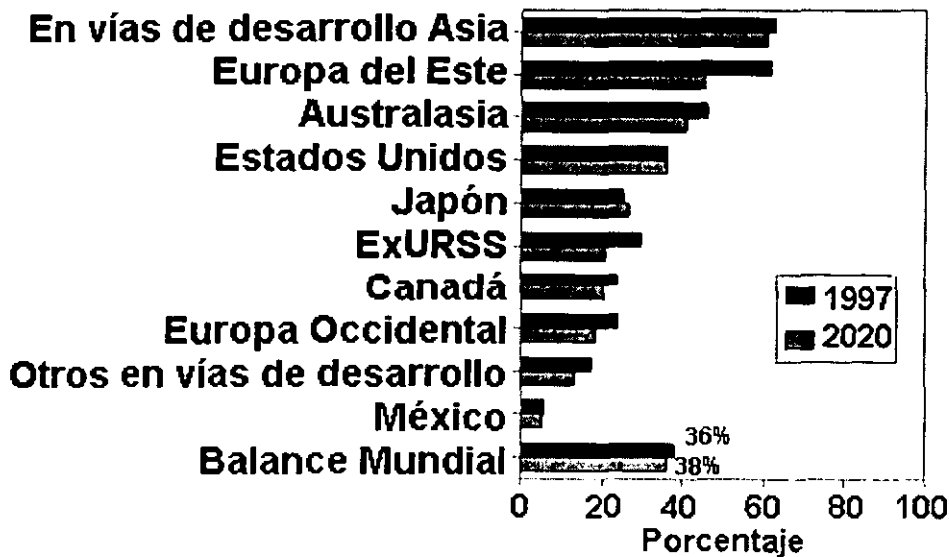
### 2.3.6 Impacto ambiental.

A pesar de que las emisiones de carbón tienen un impacto considerable en la atmósfera, no puede descartarse su uso ya que en muchos países por el momento es una fuente muy económica de producir energía, además, las reservas mundiales están estimadas en aproximadamente 1.08 billones de toneladas.

Lo que podría satisfacer los requerimientos energéticos por más de 200 años, cosa que no ha de suceder con el petróleo.

Según la IEO2000 el carbón continuará siendo la segunda opción de emisiones de carbono con un 34% en el ámbito mundial para el 2020, ocupando la primera posición el petróleo con 41% y finalmente el gas natural con 25%.

De acuerdo con la IEO2000 las emisiones producidas entre 1990-2010 en muchos países, incluyendo el incremento de 33% en los EUA, 21% en Japón y 9% en el oeste de Europa como se muestra en la siguiente gráfica.



**Gráfica No.2.8 Emisiones de Carbono provenientes de Carbón mineral por región para el período 1997-2010**

Fuente: 1997: Energy Information Administration (EIA). *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). 2010: EIA. *World Energy Projection System (2000)*.

### **2.3.7 Perspectiva del uso del carbón en México.**

Como se mencionó anteriormente, las reservas nacionales son muy pequeñas (0.1% de las reservas Mundiales), así que México esta proyectando importar carbón para la generación de electricidad y para la fabricación de acero.

Actualmente existen varios proyectos para adaptar las plantas que queman combustóleo por gas natural y carbón, tal es el caso de la Central carboeléctrica "Plutarco Elias Calles" mejor conocida como "Petacalco" Por lo que resultaría interesante crear nuevas plantas cercana a esta e invertir en infraestructura ferroviaria para la transportación de dicho mineral ya que las reservas de petróleo y gas natural se han ido agotando cada vez a un ritmo mayor mientras que las reservas de carbón mineral abunda en varias regiones del planeta, pero no hay que olvidar que al construir estas plantas, éstas requieren de gran cantidad de agua para los sistemas de enfriamiento.

Desafortunadamente en México los yacimientos de este recurso son muy escasos, por lo que seguramente se tendrá que importar ya sea del vecino del norte, el cual, posee el 25% de las reservas ó de países de Europa y Asia.

Lo que hay que tomar muy en cuenta es que se tiene que invertir más en investigación ya que de lo contrario, al volvernos dependientes de este recurso nos podría colocar en una situación un tanto comprometedora. Por lo que es necesario diversificarnos en otras fuentes de energía así como el dar las facilidades necesarias por parte del gobierno, para la instalación de sistemas que aprovechen las fuentes de energía renovables como se verá más adelante.



## 2.4 "GAS NATURAL"

### 2.4.1 Conceptos y definiciones.

- ◆ **Gas:** Estado de la materia en el que ésta carece de forma independiente o volumen. Aumenta de tamaño hasta llenar la totalidad del recipiente en que se encuentra. Constituye una de las tres formas de la materia: sólida, líquida y gaseosa.

Clasificación del gas de acuerdo a su valor energético.

- **Gas con alto BTU.** Contiene más de 1,000 BTU por pie cúbico (BTU/ft<sup>3</sup>)
  - **Gas con medio BTU.** Tiene un valor térmico entre 250-500 BTU/ft<sup>3</sup>
  - **Gas con bajo BTU.** Gas manufacturado con valor entre 100-200 BTU/ft<sup>3</sup>
- 
- ◆ **Gas combustible:** Gas sintético utilizado para calefacción o enfriamiento.
  - ◆ **Gas natural:** Mezclas que se producen naturalmente de gases y vapores de los hidrocarburos presentes en las formaciones geológicas porosas, situadas bajo la superficie terrestre, y frecuentemente asociada al petróleo. Los gases más importantes son el propano, metano, etano, butano, pentano y el hexano.  
El contenido de energía del gas natural se considera habitualmente como de **1032 BTU por pie cúbico.**
  - ◆ **Gas natural ácido (gas amargo):** Gas natural que contiene cantidades inconvenientes de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), y de otros compuestos de azufre.
  - ◆ **Gas natural dulce:** Gas que se encuentra en su estado natural conteniendo pequeñas cantidades de compuestos de azufre.
  - ◆ **Gas natural asociado:** Gas natural libre en contacto inmediato, pero no en solución, con el petróleo en crudo del depósito.
  - ◆ **Gas natural asociado-disuelto:** Gas que se presenta bajo la forma de cubiertas asociadas con una zona petrolera y en solución con el mismo petróleo.
  - ◆ **Gas natural no asociado:** Gas natural libre, que no está en contacto con el petróleo del depósito, ni disuelto en el mismo.
  - ◆ **Gas natural disuelto:** Gas natural disuelto en solución en el petróleo crudo en el depósito.
  - ◆ **Gas crudo:** Gas que contiene una amplia variedad de impurezas.
  - ◆ **Gas en bruto:** Gas natural en su estado natural, tal como existe o se le obtiene en el terreno.
  - ◆ **Gas de gasoducto:** Gas rico en metano que se ajusta a ciertos estándares, incluyendo un contenido mínimo de agua, un mínimo de gases inertes, un contenido mínimo de hidrógeno y de monóxido de carbono, y con una compresión de 1,000 lb/in<sup>2</sup> (libras por pulgada cuadrada).
  - ◆ **Gas de hoguera:** Gas de desperdicio; gas natural inutilizado, quemado en el campo petrolero.
  - ◆ **Gas de nafta:** Gas para iluminación, cargado con el vapor descompuesto de nafta.
  - ◆ **Gas de madera:** Gas generado durante la producción de carbón vegetal, calentando la madera en ausencia de aire, y usando habitualmente como combustible en el propio lugar donde se produce.

- ◆ **Gas de petróleo (oil gas):** Gas con alto contenido calorífico, obtenido mediante la destilación destructiva de petróleos minerales con alto punto de ebullición, especialmente metanos, etilenos, acetilenos, bencenos, y homólogos más altos.
- ◆ **Gas de petróleo (petroleum gas):** Cualquiera de los gases inflamables obtenidos por refinación del petróleo, y utilizados como combustible, tanto para síntesis orgánicas como en forma licuada. Los más importantes son los compuestos saturados de butano, isobutano y propano, los butilenos no saturados y el propileno.
- ◆ **Gas de petróleo licuado (GLP):** Conocido también como gas embotellado, está formado en su parte principal por propanos (61%) y butanos (39%) recuperados del gas natural y del refinado del petróleo. Tiene un contenido energético de **2000-3500 BTU** por pie cúbico estándar. El GLP se utiliza mucho, como combustible par los motores de combustión interna, en aplicaciones en que debe reducirse al mínimo la contaminación, como ocurre en edificios y minas, pero su empleo más importante es como sustituto del gas natural en las zonas a donde no llegan los gasoductos.

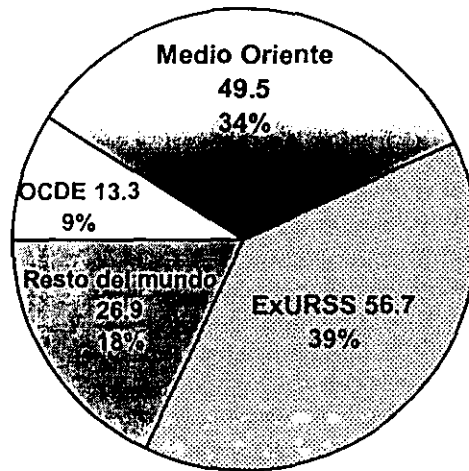
Gas natural enfriado a  $-160^{\circ}\text{C}$  de manera que forma un líquido a una presión cercana a la atmosférica. Al convertirse el gas natural en líquido **se reduce su volumen** por un factor de casi **600**, lo que permite tanto su almacenaje como su transporte económico sobre grandes distancias, usando contenedores criogénicos a alta presión.

- ◆ **Gas seco:** Gas natural formado principalmente por metano y etano, y desprovisto de los hidrocarburos más pesados; que no contienen fracciones que pueden condensarse fácilmente en situaciones atmosféricas normales; aplicando también al gas que no ha sido producido y del que han sido eliminados los componentes líquidos.
- ◆ **Gas de síntesis:** Mezcla de monóxido de carbono (CO) y de hidrógeno (H<sub>2</sub>) que contiene pequeñas cantidades de nitrógeno, algún dióxido de carbono, y varios vestigios de impurezas, preparado para los procesos de síntesis petroquímicos.
- ◆ **Gas natural sintético (GNS):** Combustible gaseoso producido del carbón, con un contenido de metano casi puro, CH<sub>4</sub> y producido mediante varios métodos de gasificación del carbón. La reacción básica es carbón  
$$\text{C} + 2\text{H}_2 \text{-----} \text{CH}_4 + \text{calor.}$$
 El GNS contiene del 95%-98% de metano, y tiene un contenido energético de **980-1035 BTU por pie cúbico** estándar, aproximadamente el mismo que el gas natural.
- ◆ **Gas inerte:** Un gas que es químicamente inactivo como el nitrógeno o el dióxido de carbono, especialmente en lo relativo a no arder, ni ayudar a la combustión en situaciones normales. También los gases del grupo de la tabla periódica (familia VIIIA gases nobles).

#### **2.4.2 Reservas Mundiales de Gas.**

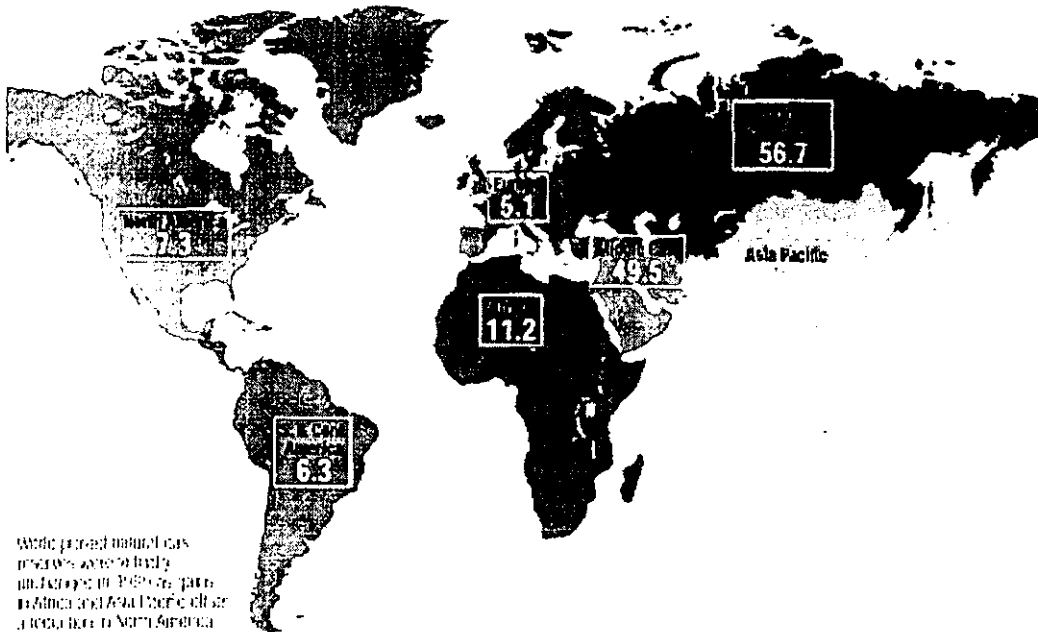
De acuerdo con la Oil & Gas Journal estimó que las reservas Mundiales de gas para el 1 de enero del 2000 eran de 5,146 billones de pies cúbicos que concuerda prácticamente con lo reportado en la tabla referente a las reservas mundiales de gas.

**Gráfica No.2.9 RESERVAS MUNDIALES DE GAS NATURAL 1999**  
 (Billones de pies cúbicos)



Fuente: Internet (<http://www.bp.com/worldenergy/gas/index.htm>) datos reportados en el año 2000.  
 Nota: Las reservas estimadas son de 1999 reportadas en el 2000

**Proved reserves at end 1999**  
 (billions of cubic feet)



**Mapa No. 2.2 Reservas provadas de gas, en billones de pies cúbicos 1999**

Fuente: Internet (<http://www.bp.com/worldenergy/gas/index.htm>) datos reportados en el año 2000.  
 Nota: Las cantidades en el sistema estadounidense están dadas en trillones de pies cúbicos, lo que equivaldría en el sistema internacional en billones de pies cúbicos.

**Tabla No. 2.7 Reservas Mundiales de Gas Probadas en 1999**

País o Región	Fin de 1979	Fin de 1989	Fin de 1998	Fin de 1999	Fin de 1999	Fin de 1999	Fin de 1999 relación Reservas/producción R/P = años de duración
	Billón de metros cúbicos	Billón de metros cúbicos	Billón de metros cúbicos	Billón de metros cúbicos	Billón de pies cúbicos	Porcentaje del total	
EUA	5.49	4.67	4.74	4.65	164.0	3.2%	8.8
Canadá	2.42	2.67	1.81	1.81	63.9	1.2%	11.1
México	1.67	2.08	1.80	0.85	30.1	0.6%	22.8
<b>Total de Norte América</b>	<b>9.58</b>	<b>9.42</b>	<b>8.35</b>	<b>7.31</b>	<b>258.0</b>	<b>5.0%</b>	<b>10.0</b>
Argentina	0.43	0.77	0.68	0.69	24.2	0.5%	20.4
Bolivia	0.15	0.16	0.12	0.12	4.3	0.1%	29.8
Brasil	0.04	0.11	0.23	0.23	8.0	0.1%	33.8
Colombia	0.14	0.11	0.20	0.20	6.9	0.1%	37.9
Ecuador	0.11	0.11	0.10	0.10	3.7	0.1%	*
Trinidad y Tobago	0.23	0.28	0.52	0.56	19.8	0.4%	51.5
Venezuela	1.21	2.86	4.04	4.04	142.5	2.8%	*
Otros de Cent. y Sud-América	0.11	0.14	0.32	0.37	13.2	0.2%	*
<b>Total de Cent. y Sud-América</b>	<b>2.42</b>	<b>4.54</b>	<b>6.21</b>	<b>6.31</b>	<b>222.6</b>	<b>4.3%</b>	<b>66.2</b>
Dinamarca	0.08	0.13	0.11	0.10	3.4	0.1%	12.4
Alemania	0.18	0.19	0.35	0.34	12.0	0.2%	19.0
Hungría	n/a	n/a	0.09	0.08	2.9	0.1%	26.1
Italia	0.10	0.33	0.23	0.23	8.1	0.2%	13.0
Holanda	1.68	1.73	1.79	1.77	62.5	1.2%	25.6
Noruega	0.67	2.33	1.17	1.17	41.4	0.8%	23.0
Rumania	n/a	n/a	0.37	0.37	13.2	0.2%	27.1
Reino Unido	0.71	0.59	0.77	0.76	26.7	0.5%	7.6
Otros de Europa	0.71	0.88	0.33	0.33	11.5	0.2%	27.6
<b>Total de Europa</b>	<b>4.13</b>	<b>6.18</b>	<b>5.21</b>	<b>5.15</b>	<b>181.7</b>	<b>3.5%</b>	<b>17.6</b>
Azerbaiyán	n/a	n/a	0.85	0.85	30.0	0.6%	*
Kazajstán	n/a	n/a	1.84	1.84	65.0	1.2%	*
Federación Rusa	n/a	n/a	48.14	48.14	1700.0	32.9%	82.7
Turkmenistán	n/a	n/a	2.86	2.86	101.0	1.9%	*
Ucrania	n/a	n/a	1.12	1.12	39.6	0.8%	63.2
Uzbekistán	n/a	n/a	1.87	1.87	66.2	1.3%	34.2
Otros de la exURSS	n/a	n/a	0.02	0.02	0.8	†	51.1
<b>Total de la exURSS</b>	<b>25.48</b>	<b>42.47</b>	<b>56.70</b>	<b>56.70</b>	<b>2002.6</b>	<b>38.7%</b>	<b>81.8</b>
Bahrein	0.25	0.18	0.12	0.11	3.9	0.1%	12.9
Irán	13.88	14.16	23.00	23.00	812.3	15.7%	*
Iraq	0.78	2.69	3.11	3.11	109.8	2.1%	*
Kuwait	0.95	1.55	1.49	1.49	52.7	1.0%	*
Omán	0.06	0.26	0.80	0.80	28.4	0.5%	*
Qatar	1.70	4.62	8.49	8.49	300.0	5.8%	*
Arabia Saudita	2.71	5.30	5.79	5.79	204.5	4.0%	*
Emiratos Árabes Unidos	0.58	5.69	6.00	6.00	212.0	4.1%	*
Yemen	-	0.16	0.48	0.48	16.9	0.3%	*
Otros de Medio Oriente	0.04	0.11	0.25	0.25	8.8	0.2%	*
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>20.95</b>	<b>34.72</b>	<b>49.53</b>	<b>49.52</b>	<b>1749.3</b>	<b>33.8%</b>	<b>*</b>
Algeria	3.74	3.23	3.69	4.52	159.7	3.1%	55.0
Egipto	0.09	0.33	0.89	1.00	35.2	0.7%	67.9
Libia	0.68	0.72	1.31	1.31	46.4	0.9%	*
Nigeria	1.17	2.47	3.51	3.51	124.0	2.4%	*
Otros de África	0.28	0.80	0.82	0.82	28.9	0.6%	*
<b>Total de África</b>	<b>5.96</b>	<b>7.55</b>	<b>10.22</b>	<b>11.16</b>	<b>394.2</b>	<b>7.7%</b>	<b>98.2</b>
Australia	0.88	0.47	1.26	1.26	44.6	0.9%	41.3
Bangladesh	0.23	0.35	0.30	0.30	10.6	0.2%	37.1
Brunei	0.22	0.32	0.39	0.39	13.8	0.3%	34.7
China	0.71	1.00	1.37	1.37	48.3	0.9%	56.3

*El dilema de la energía*  
 Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Gas Natural"

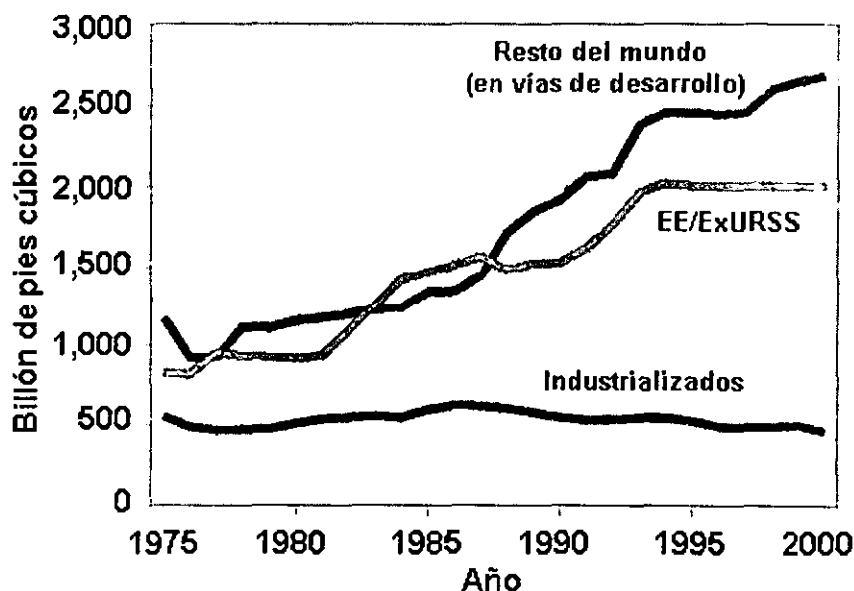
India	0.26	0.65	0.54	0.65	22.9	0.4%	26.0
Indonesia	0.68	2.46	2.05	2.05	72.3	1.4%	30.8
Malasia	0.48	1.47	2.31	2.31	81.7	1.6%	53.8
Pakistán	0.45	0.51	0.61	0.61	21.6	0.4%	34.3
Papúa y Nueva Guinea	-	0.13	0.15	0.15	5.4	0.1%	*
Tailandia	0.23	0.20	0.35	0.35	12.5	0.2%	20.7
Vietnam	-	-	0.19	0.19	6.8	0.1%	*
Otros de Asia del Pacífico	0.21	0.47	0.65	0.65	22.9	0.5%	65.6
<b>Total de Asia Pacífico</b>	<b>4.35</b>	<b>8.03</b>	<b>10.17</b>	<b>10.28</b>	<b>363.4</b>	<b>7.0%</b>	<b>40.4</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>72.87</b>	<b>112.91</b>	<b>146.39</b>	<b>146.43</b>	<b>5171.8</b>	<b>100.0%</b>	<b>61.9</b>
OCDE#	14.47	15.45	14.44	13.34	471.2	9.1%	12.8
15 de la Unión Europea	3.14	3.04	3.31	3.25	114.9	2.2%	15.0

\* "Worldwide Look at Reserves and Production," Oil & Gas Journal, Vol 97, No.51 (December 20, 1999), pp. 91-93

\* más de 100 años.

† Menos de 0.05.

1988 y 1989 excluyen a los miembros de la Europa Central



**Gráfica No. 2.10 Reservas Mundiales de Gas Natural por región para el período 1975-2000**

Fuentes: 1975-1993: "Worldwide Oil and Gas at a Glance," *International Petroleum Encyclopedia* (Tulsa, OK: PennWell Publishing, various issues. 1994-2000: Oil & Gas Journal.

Como puede observarse, las reservas de gas natural se han ido incrementando, en especial en países en vías de desarrollo; esto se debe a que en muchos de éstos no se hacían investigaciones a gran escala como en los países industrializados.

*El dilema de la energía*  
 Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Gas Natural"

**2.4.3 Producción y consumo.**

**Tabla No. 2.8**

**Producción de gas Natural\***  
 (Equivalente a miles de millones de metros cúbicos)

País o Región	1989	1997	1998	1999	Cambio entre	
					1998-1999	Porcentaje del Total de 1999
EUA	499.7	543.1	540.1	540.5	0.1%	23.2%
Canadá	96.7	156.2	160.5	162.3	1.1%	7.0%
México	26.6	33.8	36.6	37.4	2.2%	1.6%
<b>Total de Norte América</b>	<b>623.0</b>	<b>733.1</b>	<b>737.2</b>	<b>740.2</b>	<b>0.4%</b>	<b>31.8%</b>
Argentina	19.0	27.4	29.6	33.6	13.5%	1.4%
Bolivia	2.9	3.3	3.3	4.1	24.7%	0.2%
Brasil	3.8	6.0	6.3	6.7	6.6%	0.3%
Chile	***	***	***	***	***	***
Colombia	4.0	5.9	6.3	5.2	-17.3%	0.2%
Ecuador	***	***	***	***	***	***
Perú	***	***	***	***	***	***
Trinidad y Tobago	5.1	7.4	8.6	10.9	25.7%	0.5%
Venezuela	19.5	30.8	32.3	32.0	-0.9%	1.4%
Otros de Cent. y Sud-América	2.6	3.0	2.9	2.8	-4.5%	0.1%
<b>Total de Cent. y Sud-América</b>	<b>56.9</b>	<b>83.8</b>	<b>89.3</b>	<b>95.3</b>	<b>6.7%</b>	<b>4.1%</b>

**Consumo de gas Natural**  
 (Equivalente a miles de millones de metros cúbicos)

	1989	1997	1998	1999	Cambio entre	
					1998-1999	Porcentaje del Total de 1999
	439.65	511.02	497.16	499.77	0.5%	26.9%
	51.75	60.57	56.97	57.87	1.6%	3.1%
	21.87	25.65	28.71	28.71	-	1.6%
	513.27	597.24	582.84	586.35	0.6%	31.6%
	17.19	23.13	24.75	27.09	9.5%	1.5%
	***	***	***	***	***	***
	3.15	4.86	5.04	5.76	14.0%	0.3%
	1.26	2.25	2.7	3.06	15.2%	0.2%
	3.24	4.77	5.04	4.23	-16.5%	0.2%
	0.09	0.09	0.09	0.09	-	†
	0.72	0.72	0.72	0.72	3.8%	†
	***	***	***	***	***	***
	15.84	24.93	26.19	25.92	-1.1%	1.4%
	4.68	7.2	8.01	8.55	7.3%	0.5%
	46.17	67.95	72.54	75.42	4.1%	4.1%
Austria	***	***	***	***	***	***
Bélgica & Luxemburgo	***	***	***	***	***	***
Bulgaria	***	***	***	***	***	***
Republica Checa	***	***	***	***	***	***
Dinamarca	3.1	7.9	7.6	7.8	2.6%	0.3%
Finlandia	***	***	***	***	***	***
Francia	***	***	***	***	***	***
Alemania	15.7	3.7	3.4	3.0	-12.4%	0.1%
Grecia	***	***	***	***	***	***
Hungría	5.2	3.7	3.4	3.0	-12.4%	0.1%
Republica de Irlanda	***	***	***	***	***	***
Italia	17.0	19.3	19.0	17.6	-7.2%	0.7%
Holanda	60.1	67.1	63.6	60.1	-5.5%	2.6%
Noruega	30.8	46.7	47.8	51.0	6.7%	2.2%
Polonia	***	***	***	***	***	***
Portugal	***	***	***	***	***	***
Rumania	29.4	15.0	14.0	13.8	-1.6%	0.6%
Eslovaquia	***	***	***	***	***	***
España	***	***	***	***	***	***
	4.23	6.21	6.39	6.57	3.7%	0.4%
	8.46	10.17	11.16	11.97	6.9%	0.6%
	5.13	3.33	2.7	2.43	-11.6%	0.1%
	4.14	6.93	6.84	7.02	1.8%	0.4%
	1.53	3.51	3.87	4.05	4.4%	0.2%
	1.71	2.61	2.97	2.97	-0.2%	0.2%
	21.96	28.08	29.97	30.51	1.7%	1.6%
	48.24	64.17	64.53	64.89	0.5%	3.5%
	0.09	0.18	0.63	1.35	>100%	0.1%
	8.28	8.73	8.73	8.91	1.1%	0.5%
	1.71	2.52	2.52	2.7	7.0%	0.1%
	33.21	43.11	46.35	49.95	7.8%	2.7%
	28.17	31.68	31.41	30.69	-2.2%	1.7%
	1.62	2.97	3.06	3.06	0.2%	0.2%
	8.55	8.46	8.55	8.37	-2.6%	0.4%
	-	0.09	0.63	1.8	>100%	0.1%
	28.71	16.2	15.12	14.13	-6.6%	0.8%
	4.14	5.04	5.13	5.22	1.3%	0.3%
	4.05	9.99	10.62	12.15	14.5%	0.7%

Suecia	***	***	***	***	***	***	0.54	0.63	0.63	<b>0.63</b>	-1.6%	†
Suiza	***	***	***	***	***	***	1.35	2.07	2.16	<b>2.16</b>	0.3%	0.1%
Turquía	***	***	***	***	***	***	2.43	7.65	8.01	<b>9.72</b>	21.8%	0.5%
Reino Unido	41.2	86.4	90.8	<b>99.6</b>	9.8%	4.3%	41.04	67.5	70.11	<b>74.25</b>	5.8%	4.0%
Otros de Europa	15.6	12.8	12.3	<b>11.5</b>	-6.1%	0.5%	5.58	4.86	4.77	<b>4.14</b>	-13.0%	0.2%
<b>Total de Europa</b>	<b>218.1</b>	<b>276.0</b>	<b>275.2</b>	<b>282.2</b>	<b>2.6%</b>	<b>12.1%</b>	<b>264.87</b>	<b>336.69</b>	<b>346.86</b>	<b>359.64</b>	<b>3.6%</b>	<b>19.4%</b>
Azerbaiyán	10.4	5.6	5.2	<b>5.6</b>	7.1%	0.2%	12.51	4.5	4.23	<b>4.5</b>	7.1%	0.2%
Belarús	***	***	***	***	***	***	10.53	11.97	12.15	<b>12.42</b>	1.9%	0.7%
Kazajstán	6.2	7.6	7.6	<b>9.2</b>	20.7%	0.4%	9.54	5.76	5.85	<b>6.39</b>	9.0%	0.3%
Federación Rusa	574.4	532.6	551.3	<b>551.0</b>	-0.1%	23.7%	335.25	283.77	295.47	<b>294.57</b>	-0.3%	15.9%
Turkmenistán	83.9	16.1	12.4	<b>21.3</b>	71.4%	0.9%	11.79	8.19	8.28	<b>9.18</b>	10.0%	0.5%
Ucrania	28.7	16.9	16.7	<b>16.8</b>	0.6%	0.7%	84.06	60.12	55.71	<b>59.13</b>	6.2%	3.2%
Uzbekistán	38.3	47.8	51.1	<b>51.9</b>	1.5%	2.2%	27.99	36.81	38.07	<b>39.87</b>	4.8%	2.2%
Otros de la ExURSS	0.6	0.3	0.4	<b>0.4</b>	-	†	21.69	8.19	9.27	<b>8.28</b>	-10.9%	0.4%
<b>Total de la ExURSS</b>	<b>742.5</b>	<b>626.9</b>	<b>644.7</b>	<b>656.2</b>	<b>1.8%</b>	<b>28.1%</b>	<b>513.36</b>	<b>419.31</b>	<b>429.03</b>	<b>434.34</b>	<b>1.2%</b>	<b>23.4%</b>
Bahrein	5.5	8.0	8.3	<b>8.5</b>	2.5%	0.4%	***	***	***	***	***	***
Irán	22.2	47.0	50.0	<b>52.5</b>	5.0%	2.3%	18	38.16	41.94	<b>45.09</b>	7.6%	2.4%
Kuwait	8.2	9.3	9.0	<b>7.0</b>	-22.2%	0.3%	9.54	7.47	7.29	<b>5.67</b>	-22.2%	0.3%
Omán	2.4	5.0	5.0	<b>5.6</b>	10.4%	0.2%	***	***	***	***	***	***
Qatar	6.2	17.4	19.6	<b>24.0</b>	22.6%	1.0%	***	***	***	***	***	***
Arabia Saudita	29.8	45.3	46.8	<b>46.2</b>	-1.3%	2.0%	24.12	36.72	37.89	<b>37.44</b>	-1.3%	2.0%
Emiratos Árabes Unidos	20.4	36.3	37.1	<b>38.0</b>	2.6%	1.6%	13.95	23.49	24.57	<b>25.47</b>	3.5%	1.4%
Otros de Medio Oriente	7.6	5.1	5.1	<b>5.4</b>	6.4%	0.2%	14.67	26.01	26.55	<b>28.35</b>	6.6%	1.5%
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>102.3</b>	<b>173.4</b>	<b>180.9</b>	<b>187.2</b>	<b>3.5%</b>	<b>8.0%</b>	<b>80.28</b>	<b>131.85</b>	<b>138.24</b>	<b>142.02</b>	<b>2.7%</b>	<b>7.6%</b>
Algeria	46.4	70.4	75.4	<b>82.2</b>	9.0%	3.5%	11.97	16.29	17.46	<b>18.27</b>	4.7%	1.0%
Egipto	6.5	11.6	12.2	<b>14.7</b>	19.9%	0.6%	5.31	9.45	9.9	<b>11.88</b>	19.9%	0.6%
Libia	6.3	6.4	6.2	<b>5.9</b>	-4.1%	0.3%	***	***	***	***	***	***
Nigeria	4.2	5.1	5.1	<b>5.7</b>	10.2%	0.3%	***	***	***	***	***	***
Otros de África	0.9	4.9	5.0	<b>5.2</b>	4.3%	0.2%	9.18	11.61	11.97	<b>12.06</b>	0.4%	0.6%
<b>Total de África</b>	<b>64.3</b>	<b>98.4</b>	<b>103.9</b>	<b>113.7</b>	<b>9.3%</b>	<b>4.9%</b>	<b>26.46</b>	<b>37.35</b>	<b>39.33</b>	<b>42.21</b>	<b>7.2%</b>	<b>2.2%</b>
Australia	17.6	30.0	30.4	<b>30.6</b>	0.7%	1.3%	14.13	15.84	16.47	<b>16.02</b>	-2.5%	0.9%
Bangladesh	4.7	7.6	7.8	<b>8.1</b>	4.2%	0.4%	3.78	6.12	6.3	<b>6.39</b>	1.7%	0.3%
Brunei	8.8	11.7	10.8	<b>11.3</b>	4.6%	0.5%	***	***	***	***	***	***
China	14.0	22.2	22.0	<b>24.3</b>	10.3%	1.0%	11.61	15.66	15.66	<b>17.37</b>	10.9%	0.9%
China Hong Kong SAR	***	***	***	***	***	***	***	2.16	1.98	<b>2.16</b>	10.3%	0.1%
India	10.7	20.7	24.6	<b>24.9</b>	1.1%	1.1%	8.64	17.19	18.81	<b>19.26</b>	2.2%	1.0%
Indonesia	41.3	67.6	63.9	<b>66.4</b>	4.0%	2.9%	14.85	25.83	21.96	<b>22.05</b>	0.4%	1.2%
Japón	***	***	***	***	***	***	38.79	52.74	56.25	<b>60.39</b>	7.3%	3.3%
Malasia	17.5	38.4	40.7	<b>43.0</b>	5.7%	1.8%	6.03	13.5	15.66	<b>17.01</b>	8.8%	0.9%
Nueva Zelanda	***	***	***	***	***	***	3.51	4.14	3.6	<b>3.96</b>	8.3%	0.2%

*El dilema de la energía*  
 Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Gas Natural"

Pakistán	10.6	15.8	16.2	17.8	10.0%	0.8%	8.64	12.87	13.14	14.49	10.0%	0.8%
Filipinas	***	***	***	***	***	***	***	†	†	†	-25.0%	†
Singapur	***	***	***	***	***	***	***	1.26	1.26	1.26	-	0.1%
Corea del Sur	***	***	***	***	***	***	2.34	13.32	12.42	15.21	21.8%	0.8%
Taiwán	***	***	***	***	***	***	0.9	4.14	5.13	5.04	-2.7%	0.3%
Tailandia	5.4	14.1	15.5	17.1	10.6%	0.7%	4.41	11.79	12.87	13.32	3.4%	0.7%
Otros de Asia del Pacífico	9.3	10.9	10.6	11.3	6.3%	0.5%	2.16	3.42	3.51	3.6	5.0%	0.2%
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>140.1</b>	<b>239.0</b>	<b>242.5</b>	<b>254.8</b>	<b>5.1%</b>	<b>11.0%</b>	<b>119.79</b>	<b>199.98</b>	<b>205.02</b>	<b>217.53</b>	<b>6.0%</b>	<b>11.7%</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>1564.2</b>	<b>2230.6</b>	<b>2273.7</b>	<b>2329.6</b>	<b>2.5%</b>	<b>100.0%</b>	<b>1564.2</b>	<b>1790.37</b>	<b>1813.86</b>	<b>1857.51</b>	<b>2.4%</b>	<b>100.0%</b>
OECD	793.35	1028.5	1032.8	1043.9	1.1%	44.8%	793.35	990.54	990.72	1015.65	2.5%	54.7%
15 de la Unión Europea	194.94	203.8	202.9	207.9	2.5%	8.9%	194.94	270.45	281.79	294.48	4.5%	15.9%
Otros de EME†	213.93	557.1	579.5	613.3	5.8%	26.3%	213.93	351.09	366.39	381.6	4.1%	20.5%

Fuente: Internet <http://www.bpamoco.com/worldenergy/gas/consumption>.

†Menos de 0.05.

‡Excluye Europa Central ExURSS

Otros incluye \*\*\*



Tabla No. 2.9 Flujos Mundiales de Gas Natural por gasoducto 1999  
(mil millones de metros cúbicos)

País ó Región	"Desde"														Importaciones totales		
	EUA	Canadá	México	Argentina	Bolivia	Dinamarca	Francia	Alemania	Holanda	Noruega	Reino Unido	Federación Rusa	Turkmenistán	Omán		Algeria	Malasia
<b>Norte de América</b>																	<b>96.26</b>
EUA	-	94.70	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.88
Canadá	0.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.81
México	1.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Cent. y Sud-América</b>																	
Argentina	-	-	-	-	1.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.80
Brasil	-	-	-	-	0.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37
Chile	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00
<b>Europa</b>																	
Austria	-	-	-	-	-	-	-	0.35	-	0.56	-	5.30	-	-	-	-	6.21
Bélgica	-	-	-	-	-	-	-	0.50	5.40	5.64	0.30	-	-	-	-	-	11.84
Bulgaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.20	-	-	-	-	3.20
Croacia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.11	-	-	-	-	1.11
Republica Checa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.30	-	7.80	-	-	-	-	9.10
Finlandia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.20	-	-	-	-	4.20
Francia	-	-	-	-	-	-	-	-	5.60	13.00	0.30	11.96	-	-	-	-	30.86
Alemania	-	-	-	-	-	1.80	-	-	19.80	16.18	0.65	34.80	-	-	-	-	73.23
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.50	-	-	-	-	1.50
Hungría	-	-	-	-	-	-	0.50	0.90	-	-	-	7.40	-	-	-	-	8.80
Irlanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.10	-	-	-	-	-	2.10
Italia	-	-	-	-	-	-	-	-	2.80	-	-	19.10	-	-	24.60	-	46.50
Luxemburgo	-	-	-	-	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	-	0.80
Holanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.14	2.20	-	-	-	-	-	7.34
Polonia	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	7.30	-	-	-	-	7.40
Portugal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.90	-	-	1.90
Rumania	-	-	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-	3.20	-	-	-	-	3.40
Eslovaquia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.40	-	-	-	-	7.40
Eslovenia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	-	-	0.46	-	0.99
España	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.30	-	-	-	5.74	-	-	8.04
Suecia	-	-	-	-	-	0.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.86
Suiza	-	-	-	-	-	-	0.35	1.40	0.60	-	-	0.60	-	-	-	-	2.95
Turquía	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.80	-	-	-	-	8.80
Reino Unido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.37	-	-	-	-	-	-	1.37
Otros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.34	-	-	-	-	1.34
<b>Medio Oriente</b>																	

*El dilema de la energía*  
 Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Gas Natural"

Irán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.20	-	-	-	3.20
Emiratos Árabes Unidos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	-	-	0.45
África																	
Túnez	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	1.00
Asia del Pacífico																	
Singapur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.50	1.50
<b>EXPORTACIONES TOTALES</b>	<b>2.69</b>	<b>94.70</b>	<b>1.56</b>	<b>2.00</b>	<b>2.17</b>	<b>2.66</b>	<b>0.85</b>	<b>3.45</b>	<b>35.00</b>	<b>45.49</b>	<b>5.55</b>	<b>125.54</b>	<b>3.20</b>	<b>0.45</b>	<b>33.70</b>	<b>1.50</b>	<b>360.51</b>

Fuente: Cedigaz Internet <http://www.bp.com/wordenergy/naturalgas/index.htm>

**Tabla No. 2.10 Flujos Mundiales de Gas Natural licuado (LNG)\* 1999**  
 (Miles de millones de metros cúbicos)

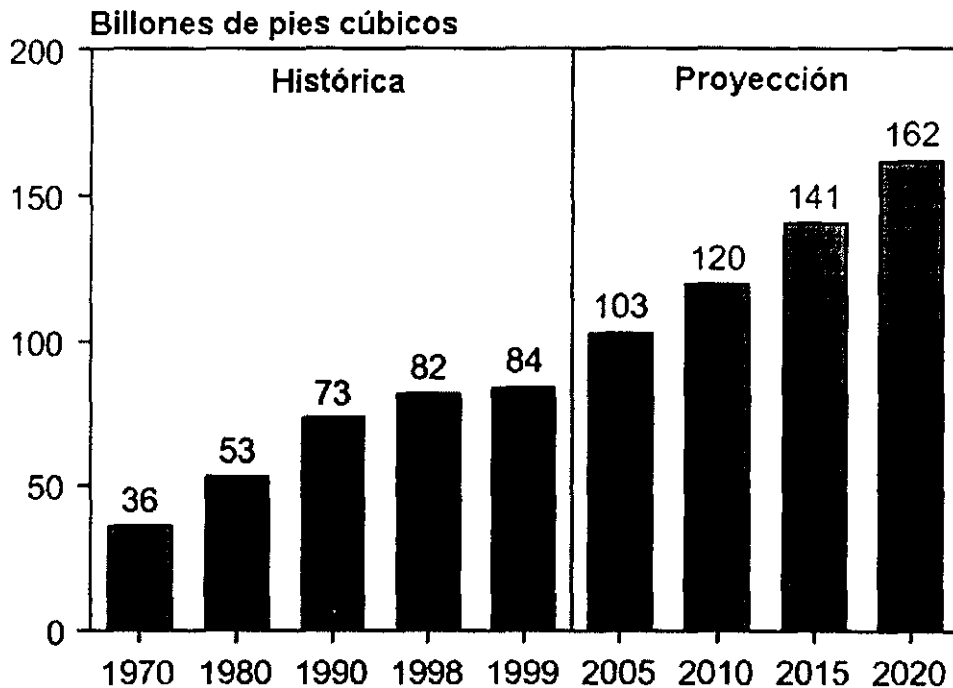
PAÍS "A"	"Desde"											Importaciones Totales
	EUA	Trinidad y Tobago	Qatar	EAU	Algeria	Libia	Nigeria	Australia	Brunei	Indonesia	Malasia	
<b>Norte América</b>												
EUA	-	1.30	0.60	0.08	2.20	-	-	0.31	-	-	0.08	4.57
<b>Europa</b>												
Bélgica	-	-	-	-	4.04	-	-	-	-	-	-	4.04
Francia	-	-	0.08	-	10.10	-	0.08	-	-	-	-	10.26
Italia	-	-	0.04	0.20	2.10	-	0.50	-	-	-	-	2.84
España	-	0.75	0.84	0.31	4.22	0.96	0.08	-	-	-	-	7.16
Turquía	-	-	-	-	3.10	-	0.08	-	-	-	-	3.18
<b>Asia del Pacífico</b>												
Japón	1.65	-	5.90	6.40	-	-	-	9.76	7.40	24.80	13.37	69.28
Corea del Sur	-	-	0.67	0.08	-	-	-	-	1.01	11.36	4.40	17.52
Taiwán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.65	2.70	5.35
<b>EXPORTACIONES TOTALES</b>	<b>1.65</b>	<b>2.05</b>	<b>8.13</b>	<b>7.07</b>	<b>25.76</b>	<b>0.96</b>	<b>0.74</b>	<b>10.07</b>	<b>8.41</b>	<b>38.81</b>	<b>20.55</b>	<b>124.20</b>

Fuente: Cedigaz Internet <http://www.bp.com/wordenergy/naturalgas/index.htm>

\*LNG Liquefied Natural Gas EAU EMIRATOS ÁRABES UNIDOS

Recientemente, en los últimos años la demanda de gas natural se ha venido incrementando debido a la reciente crisis del petróleo y también porque presenta muchas ventajas desde el punto de vista ecológico.

De acuerdo con la IEO2001 desde 1999-2020 el incremento en el consumo de gas natural habrá crecido casi 100% como se muestra en la siguiente gráfica.



**Gráfica No. 2.11 Consumo mundial de gas natural para el periodo 1970-2020**

Fuentes: **Históricas:** Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones:** EIA, World Energy Projection System (2001).

El lento crecimiento del consumo de gas es usado principalmente en el sector eléctrico el cual pasará de 18.8% a 24.6 % e incluso hasta un 26% para el 2020.

En los países industrializados actualmente se ha aumentado el uso del gas en 2.1% anual en comparación con 1% anual del petróleo.

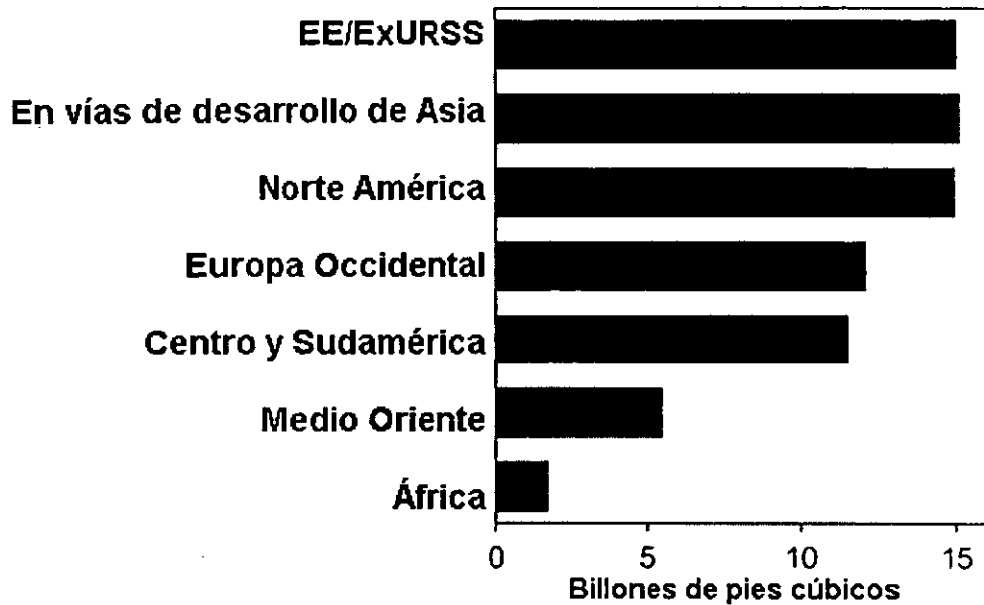
El porcentaje de gas usado para la generación de fuerza esta incrementándose de poco más de 20% en 1999 a 30% esperado para el 2020.

En los últimos veinte años, las reservas estimadas de gas, se han venido incrementando rápidamente en la ExURSS, Medio Oriente y países en vías de desarrollo de Centro y Sudamérica, así como de países de Asia del Pacífico.

Esto quiere decir que muy probablemente en México existan más reservas de lo que se cree, pero para poderlo averiguar, es necesario invertir en exploración e investigación en dicho sector.

Además existen reservas que de momento no son costeables el poderlas extraer, debido a la profundidad o al terreno.

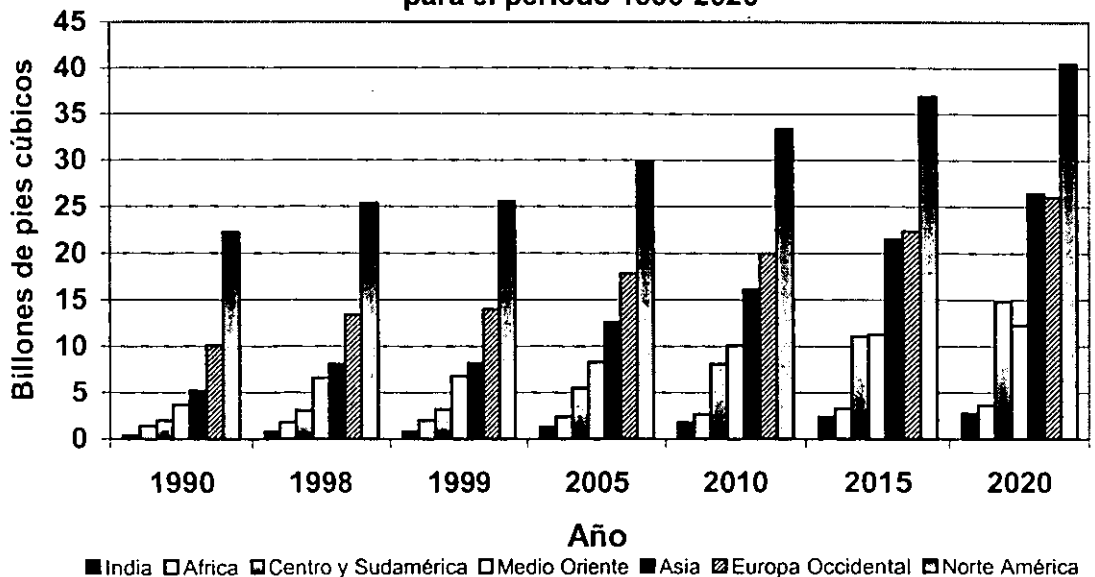
En caso de que no se hagan dichas exploraciones ó dilate mucho su estudio, en lugares cercanos a la frontera al no existir un censo confiable de las reservas, el vecino del norte muy bien pudiera succionarlas no registradas como lo ha hecho con el petróleo.



**Gráfico No. 2.12 Incremento en el consumo de Gas Natural esperado para el período 1999-2020**

Fuentes: **Históricas:** Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones al 2020:** EIA, World Energy Projection System (2001).

**Gráfico No. 2.13 Consumo de Gas Natural para el período 1990-2020**



Fuentes: **Históricas:** Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones al 2020:** EIA, World Energy Projection System (2001).

Las reservas en México habían disminuido hasta un 50% (pasando de 63 a 30.1 billones de pies cúbicos), y las de EUA así como de Europa Occidental han declinado de 3 a 2 billones de pies cúbicos de 1975 al 2000. La IEO2001 ha proyectado que el consumo de gas natural crecerá 2.2% anual desde 1999 continuando así hasta el 2020 en América del Norte.

El consumo de gas para la generación de energía eléctrica en EUA fué en 1999 de 3.8 billones de pies cúbicos esperándose un llegar a usar 11.3 billones de pies cúbicos para el 2020.

**Actualmente EUA consume el 85.2% de gas en Norte América.**

El crecimiento de gas en Europa Occidental es de 3% anual consumiéndose muy probablemente 26.1 billones para el 2020 tal como se muestra en la gráfica 2.13

Mientras tanto, al otro lado de Europa, la Federación Rusa continua dominando el comercio del gas natural, exportando más de 4.2 billones de pies cúbicos a Europa y otros países de la ExURSS.

Uno de los problemas que enfrenta la Federación Rusa es que, el 90% de las exportaciones tienen que pasar por los ductos de Ucrania para llegar hacia Europa, por lo que necesitarán llevar inversiones a esa región para crear nuevas rutas de acceso hacia Europa Occidental y evitar depender de la ruta Ucraniana que los pondría un tanto vulnerables.

El crecimiento del consumo de gas esperado en la ExURSS será hasta el 2020 de 1.8% anual, pasando de 20.1 billones a 29.5 billones de pies cúbicos mientras que en el Este de Europa se considera un incremento en el consumo de gas natural de aproximadamente 5.9% por año, pasando de 2.4 billones de pies cúbicos en 1999 a 8 billones de pies cúbicos para el 2020.

El consumo de dicho energético aumentará considerablemente, por lo que para los inversionistas en dicha área les podría resultar muy agradable el poder invertir; Aunque existe el riesgo que las inversiones no se recuperen en el tiempo estimado, ya que de no incrementarse la llegada de capital extranjero para la creación de nuevas fuentes de trabajo en la región, evitaría que la población pudiese pagar más fácilmente el costo por el consumo de gas natural.

Es interesante observar que entre la Federación Rusa y Ucrania consumieron el 81.3% de gas en la ExURSS en 1999.

Mientras que el consumo en el Este de Europa y la ExURSS será de hasta 37.5 billones de pies cúbicos para el 2020, así pues, a miles de kilómetros, en América Central y del Sur se espera que pase de los casi 3.2 billones de pies cúbicos consumidos en 1999 a 15.3 billones para el 2020.

En esta región puede observarse un incremento acelerado de consumo de gas natural, esperando que sea más de 4 veces el consumo actual, como se ve en la gráfica 2.13

Entre los países de Sudamérica que experimentaran un incremento en el consumo de gas natural, está principalmente Brasil, donde el consumo en 1999, pasará de 0.25 billones de pies cúbicos a 2.5 billones de pies cúbicos para el 2020 o sea un incremento del 900%.

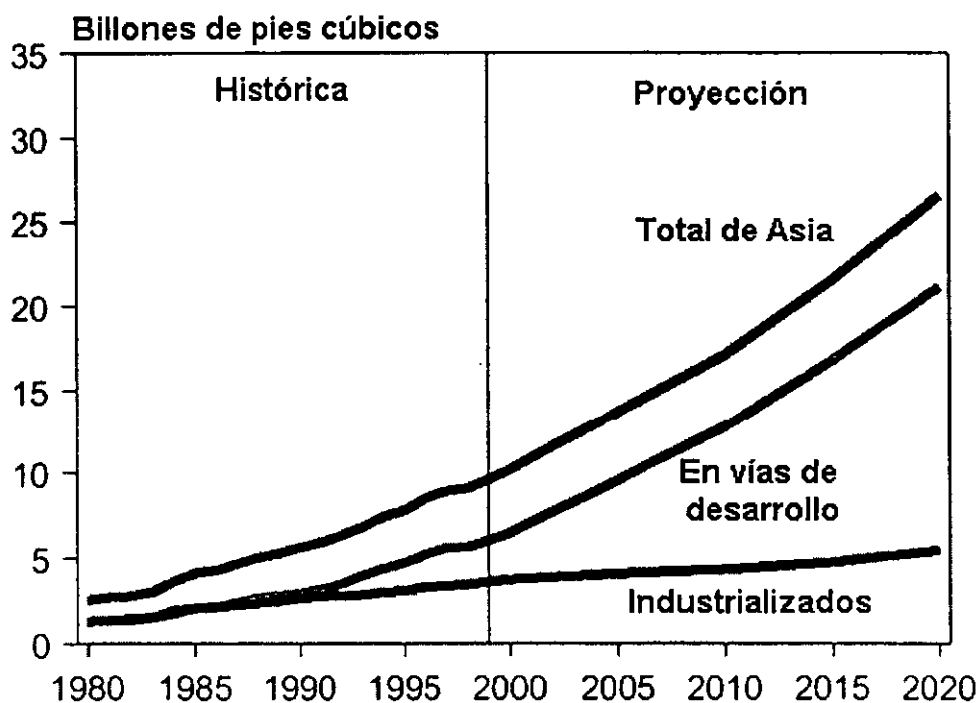
Siguiendo la vuelta al mundo, en Asia el consumo de gas natural fué de casi 9.5 billones de pies cúbicos en 1999 esperándose un incremento de hasta 31.5 billones para el 2020, lo que representa un aumento de 231% en dicha región.

En los países industrializados de la región asiática, en 1999 se consumió 3.2 billones de pies cúbicos, pudiendo llegar hasta 5.2 billones para el 2020, siendo Japón, el que consume tan solo 3.7 billones del total para ese año, o sea, más del 70%; lo cual indica que su economía seguirá siendo muy dinámica en estas dos décadas.

Los países que poseen ricos yacimientos en la región son: Australia (0.9%), Indonesia (1.4%), Malasia (1.6% de las reservas mundiales)

En lo que respecta a los países en vías de desarrollo en Asia, como son China y la India, experimentarán un tremendo impacto en el consumo de gas, si consideramos que para dentro de 25 años aproximadamente el 38% de la población mundial estará concertada en estos dos grandes gigantes del pacífico, consumiendo casi el 17% de gas en la región en 1999.

A continuación se muestra las proyecciones de consumo de gas natural en la región Asiática.



Gráfica No. 2.14 Consumo de Gas Natural en Asia por Región para el período 1980-2020

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

Si comparamos el consumo de gas en la India con el que se consume y consumirá en todo el continente Africano, como se muestra en la gráfica 2.13, qué sucederá en un futuro cercano en Asia, si, además, se suma el consumo de China y Japón; siendo que tan sólo la India consume más que todo un continente.

En 1999 el consumo de gas natural en África fue de 1.82 billones de pies cúbicos, de acuerdo a la IEO2001 se espera que este se incremente hasta 2.8 billones para el 2020, experimentando el crecimiento más lento del

planeta. Esto se debe a que la situación económica es deplorable ya que además de la hambruna existen centenas de millones de personas que ganan menos de un dólar al día; además, la inestabilidad de los gobiernos y los constantes conflictos, no permiten por el momento atraer a inversiones en dicho sector para esta región que posee un potencial económico muy bueno si se llegará a crear infraestructura de todo tipo, ya que en algunas regiones del mundo, la tierra esta muy erosionada como en China pero en Africa se tiene un gran potencial en el campo y en la extracción de materias primas que son muy necesarias en Europa.

Los principales consumidores de gas en dicha región son Algeria y Egipto con el 72% hasta finales de 1999.

Por último; **Medio Oriente** cuenta con la tercera parte de las reservas mundiales de gas natural pero a pesar de esto no experimentará un rápido consumo de dicho energético, ya que cuenta con ricos yacimientos de petróleo.

En 1999 el consumo de gas natural fué de 6.2 billones de pies cúbicos esperándose un aumento de hasta 12.0 billones para el 2020.

Los principales consumidores de la región son: Irán, Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos, con el 75.8%

#### **2.4.4 Perspectivas Mundiales.**

En la actualidad en todo el mundo existen proyectos muy ambiciosos para la exportación de gas natural, así como para la construcción de grandes gasoductos para el consumo en la región o exportación a países vecinos.

Es aquí donde grandes inversionistas en todo el mundo han puesto su mirada ya que actualmente el **gas natural es el tercer abastecedor de energía primaria, y para el 2010 se convertirá en la segunda fuente de energía** de este tipo en el mundo.

Bill Richardson, exsecretario de Energía de los Estados Unidos, promovió la idea de un mercado de gas natural sin fronteras proponiendo a empresarios y ministros latinoamericanos, la iniciativa de circular el combustible desde Canadá hasta el cono Sur.

Es aquí, donde México tendrá un papel preponderante, ya que podría ser el puente adecuado para conectar el centro con el norte y el centro con el sur; Estableciéndose en el año 2000 un acuerdo con Guatemala para la construcción del gasoducto México-Guatemala.

Actualmente existen conexiones de transporte y distribución de gas natural entre Bolivia y Brasil, Argentina y Chile. Colombia se unirá con Centroamérica y con México, y este a su vez con sus vecinos del Norte.

Pero hay que tener un tanto de cuidado en esto, si bien para los inversionistas puede resultar muy atractivo, como país posiblemente no, a menos que se carezca de muchos recursos para poder satisfacer los requerimientos energéticos; ya que esta nueva vía de globalización, tendrá una parte fuerte que irá imponiendo las reglas, y una parte débil que tendrá que aceptarse. Desde luego, que nosotros y los vecinos del sur, no seremos la parte fuerte ya que tanto los Canadienses como los Estadounidenses saldrán muy beneficiados; es por eso que han promovido muy intensamente dicho mercado.

Por otro lado, en países de Sudamérica como Colombia, al no acatarse a las decisiones de los Estados Unidos en cuestiones como el narcotráfico, entonces, al volverse dependiente de dicho energético, podrían verse

boicoteados en el suministro del combustible. Dicho en otras palabras, se establecería un dilema ya que se estaría atentando a la soberanía de los países, debido a la dependencia de combustibles primarios procedentes de las potencias del norte.

Cosa similar podría suceder en otras regiones del mundo.

En el caso de China y la India podrían conectarse a sus vecinos para poder satisfacer sus requerimientos energéticos, pero posteriormente, mediante chantajes y amenazas, los países que les suministren no podrán dejar de hacerlo, y más cuando se trata de socios convertidos en potencias nucleares originando una cierta tensión entre países ó regiones.

Volviendo a México, actualmente se importa gas natural del vecino del norte, ya que el escaso presupuesto para la exploración y extracción de gas en nuevos yacimientos nos tiene un tanto ahorcados, ya que las reservas cuantificadas hasta el momento son pequeñas comparadas con los vecinos del norte e insignificantes con respecto a Medio Oriente.

Desde luego, si bien, ha de conectarse toda América Latina para el flujo desde los EUA y Canadá, ¿qué sucederá cuando sus yacimientos, que no son tan ricos, comparados con los de Medio Oriente se agoten?

La respuesta es sencilla, EUA posee la cuarta parte del Carbón mundial, suficiente para satisfacer las necesidades de EUA durante los próximos 250 años; Por lo que sería capaz de sintetizar gas natural y petróleo a partir de carbón.

En este tipo de síntesis el gobierno de EUA ya tiene bien conocido los procesos para dicha síntesis, ya que durante la década de los años setenta, ante la crisis del petróleo originada por Irán, se invirtió cientos de millones de dólares en investigación y diseño de plantas piloto para la síntesis de gas natural y petróleo a partir de carbón.

En México el sector energético despliega ahora una actividad energética para sus propósitos futuros de desarrollo. Tendrá fuertes requerimientos de gas natural para generación de energía eléctrica, para cubrir la creciente demanda industrial, así como el aumento en la demanda comercial, doméstica y para el uso vehicular.

Es aquí donde nos preguntamos ¿De donde va a salir el gas para satisfacer esas futuras necesidades?.

Los 4,805 millones de pies cúbicos diarios producidos en el 2000 no alcanzarán para satisfacer dichas necesidades por lo que ha de importarse del vecino del norte.

Actualmente los estadounidenses están trabajando duro en la conversión de gas natural en líquido, a fin de que escurra con fluidez por los gasoductos, con eficiencia económica.

EUA es nuestro comprador de crudo más importante, y parecería justo que nosotros nos convirtiéramos en consumidores de su gas pero esto no es por hacemos un favor, al compramos el crudo; la razón es que nos amarra como cliente casi único. Aquí es donde nos golea constantemente y empezará hacerlo de nuevo al vendernos cada vez más su gas.

Por otro lado, PEMEX invertirá en estos tres años 2,500 millones de dólares a fin de incrementar en 3,100 millones de pies cúbicos diarios alcanzando una producción de 7,300 millones aunque esta cifra podría subir a 12,000 millones de pies cúbicos al día para el 2008.



En poco tiempo, habrá 881 plantas distribuidoras del combustible. En todo esto, el principal problema radica en que se está concesionado en demasía a las transnacionales extranjeras principalmente norteamericanas.

Los empresarios norteamericanos están ansiosos de invertir más millones de dólares en el país en el negocio de gas.

Tan solo en el sexenio del expresidente Zedillo, la Comisión Reguladora de Energía otorgó más de 20 permisos para distribuir gas natural, principalmente a empresas norteamericanas como: Sempra Energy, K. N. Energy, Reliant Energy, T. X. U., entre otras y aquellas que han decidido asociarse a capital Mexicano como Metro Gas, por lo que es necesario darse cuenta que si bien México se convertirá en un importador de gas, también podría correr el riesgo de dicha dependencia.<sup>4</sup>

#### **2.4.5 Perspectiva del gas natural en México hasta el 2008.**

En esta área, se espera que se duplique la capacidad de generación de energía eléctrica y casi se triplique el consumo de gas natural en México para el 2008.

Según los nuevos escenarios, el consumo de gas natural crecerá de 4,600 millones de pies cúbicos diarios (pcd) actualmente a 12,000 millones en el año 2008.<sup>5</sup>

Uno de los problemas que enfrenta este sector es que por el momento PEMEX solo podrá satisfacer 80% de la demanda de gas natural prevista para el 2006, la cual representa 7,320 millones de pcd, por lo que el país podría seguir dependiendo de importaciones del combustible.

De acuerdo con datos de la empresa petrolera mexicana, la demanda de gas natural crecerá a una tasa media anual de 10%, con consumos superiores a los 6,000 millones de pcd a partir del 2004 y de 7,000 millones a partir del 2006.

Este gran crecimiento será requerido para:

- El **sector eléctrico**, cuya demanda se incrementará en un promedio de 15.7% anual, toda una vez que 35 plantas nuevas distribuidas a lo largo del país inicien sus operaciones entre el presente año 2001 y el 2006.
- El **sector industrial** observará un crecimiento de su demanda de 9.8% en promedio anual, superando al cabo de seis años, los 1,900 millones de pcd. Su mayor impulso se dará en los próximos cuatro años como resultado del crecimiento industrial y de la cogeneración en que participan algunas empresas.
- Los consumos en el **sector doméstico** serán los **más dinámicos**, pues se estima que su crecimiento será del orden del 28%, pasando de 120 a 400 millones de pcd para el mismo período.

La producción se podría incrementar en un 7.7% anual hasta el 2006.

Procesar tales volúmenes adicionales requiere de inversiones, particularmente en la capacidad de endulzamiento, que actualmente es de 753 millones de pcd y que se elevará a 4,900 millones de pcd con la modificación de algunas plantas en el sureste y la construcción de nuevas plantas.

De concretarse ese escenario, la producción de gas natural seco se incrementará un 7.8% anual.<sup>6</sup>

Así pues, es muy importante invertir más en exploración y extracción del hidrocarburo, ya que de lo contrario, apartir del 2006 se tendría que satisfacer la demanda importando ya sea del vecino del norte ó de otros países.

#### **2.4.6 Nuevos yacimientos de gas natural con gran potencial.**

Lo que suena un tanto alentador es que si bien las reservas estaban garantizadas hasta el 2006, de acuerdo a un estudio realizado en el mes de Mayo del 2001 por Scotia Group y PEMEX Exploración y Producción (PEP), en las cuencas de **Burgos** (ubicada entre Tamaulipas, Chihuahua y Coahuila), **Sabinas y Piedras Negras**, se estimó un nuevo potencial de entre 6.5 y 15 trillones de pies cúbicos.

Las citadas regiones son la solución para evitar las crecientes importaciones previstas a mediano plazo. Sin embargo para ello se requiere incrementar de forma importante el nivel de inversiones para la reactivación de esos campos y la exploración en la búsqueda de nuevos depósitos.

Respecto a la reactivación de campos petroleros maduros en el noreste del país, hay 154 con posibilidades de reactivar: 17 de ellos en etapa inicial de reactivación; 13 en proceso de reactivación; 27 en programa y 97 sin programa en el mediano plazo.

Todos estos campos cuentan con un potencial de reservas por 6,733 millones de pies cúbicos de gas natural. Pero es importante invertir para el descubrimiento de nuevos campos, así como acelerar el descubrimiento de nuevos depósitos, en virtud de que 79% de la producción de gas natural en la Cuenca de Burgos depende de nueve campos, los cuales incrementaron sus reservas en 153% a consecuencia de la reactivación.

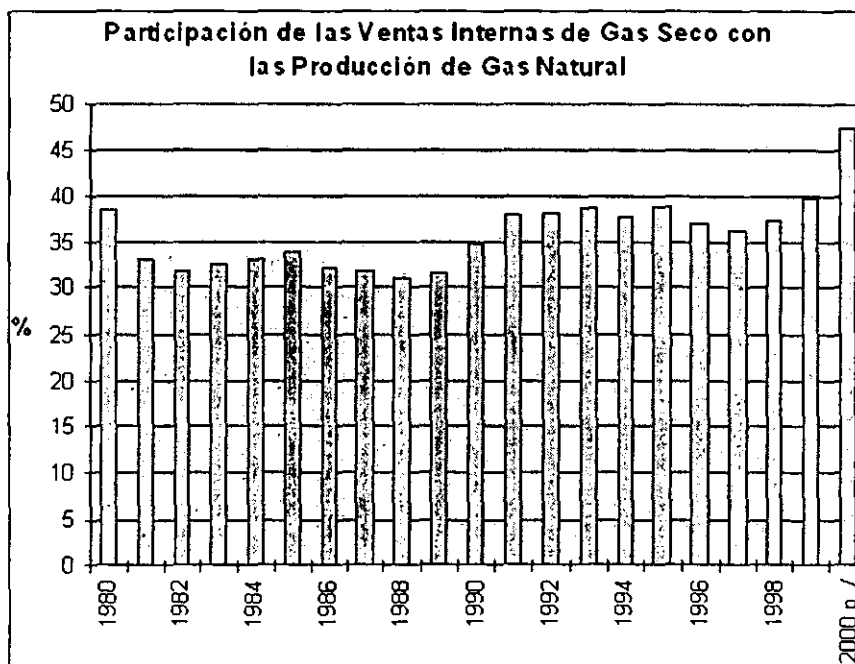
La declinación mensual de los pozos ha aumentado de 6% en 1997 a 9% en el 2000 como consecuencia en el incremento del consumo del hidrocarburo.<sup>7</sup>

2.4.7 Aspecto económico.

<b>Tabla No. 2.11 Producción de Gas Natural y Ventas Internas de Gas Seco</b> (Millones de pies cúbicos diarios)			
Año	Producción (1)	Ventas 1 / (2)	Participación % (2/1)
1980	3,548.0	1,366.4	38.5
1985	3,603.8	1,223.5	33.9
1990	3,651.5	1,267.1	34.7
1995	3,759.2	1,463.9	38.9
1996	4,194.9	1,545.0	36.8
1997	4,467.1	1,619.8	36.3
1998	4,790.7	1,788.8	37.3
1999	4,790.5	1,899.0	39.6
<b>2000</b>	<b>4,805.4</b>	<b>2,274.9</b>	<b>47.3</b>

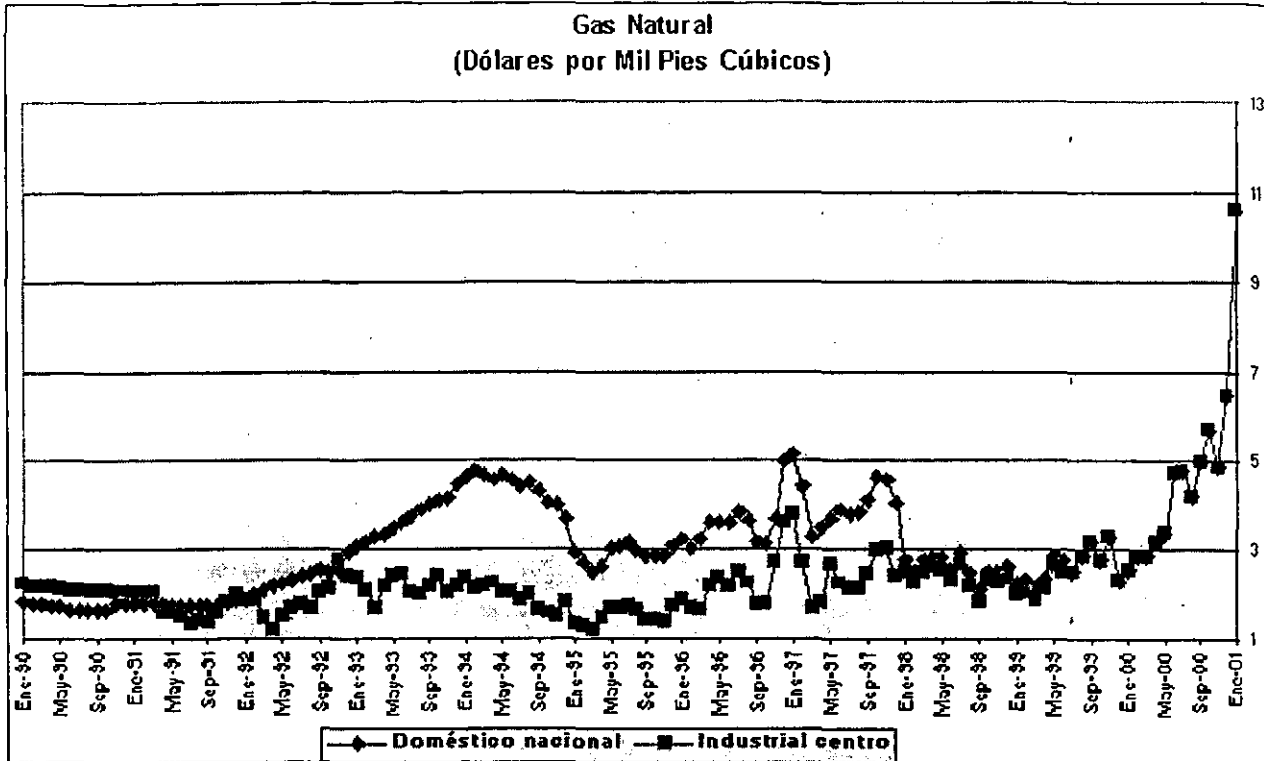
1 / No incluye autoconsumo de PEMEX.  
 FUENTE: Secretaría de Energía, datos proporcionados por PEMEX para informe de Gobierno.

En la siguiente gráfica se observa que durante el año 2000 se incrementaron las ventas en casi 20% con respecto a 1999. esto indica que el crecimiento en dicha área es muy prometedor, como se verá más adelante.



**Gráfica No. 2.15**

FUENTE: Secretaría de Energía, datos proporcionados por PEMEX para informe de Gobierno.



Gráfica No. 2.16

FUENTE: Secretaría de Energía, datos proporcionados por PEMEX para informe de Gobierno.

Resulta irónico que si bien se dice que México es rico en hidrocarburos, es inconcebible un alza tan disparada en el precio del gas, aunque en unos meses si se libera el precio de este, con la subida del crudo a partir de la tensa situación mundial durante los recientes hechos ocurridos el 11 de septiembre en los EUA, le pegaría directamente a la sociedad y a la industria de transformación.

Esto a propiciado que muchas empresas como las productoras de vidrio entre otros miles de negocios que dependen de dicho energético estén quebrando por la excesiva alza durante los últimos meses aunque a partir del mes de junio del presente 2001 se dio una baja considerable en el precio de este, pero aun así el daño ya está hecho.

#### **2.4.8 Propuesta de Inversión y Creación de nuevas empresas en el sector de Gas Natural.**

Una de las cosas más alentadoras en este sector esta en que en estos cuatro años, se proyecta la instalación de 15,000 kilómetros de tubería, incrementándose la demanda de material y servicios y la creación de nuevas empresas en las siguientes áreas:

- Construcción
- Instalación
- Conexión
- Prueba
- Comercialización

Que demandarán otros productos como:

- Grandes cantidades de tubería.
- Conexiones de Plástico y Acero.
- Sistemas de protección catódica.
- Sistemas de odorización.
- Válvulas de corte y seguridad.
- Medidores industriales, comerciales y residenciales.
- Electrocorrectores o computadoras de flujo.
- Herramientas especializadas.

Es en todas estas áreas donde el buen conocedor y el gran emprendedor puede invertir.

También se pueden generar empleos en el área de servicios como:

- Constructoras.
- Instaladores.
- Empresas de Supervisión. Son empresas encargadas de emitir un dictamen sobre la instalación y conexión de los ductos para transportar gas natural. Estas compañías deben de poseer una licencia emitida por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial para calificar cada obra de instalación y obtienen sus ingresos de los cobros que realizan por cada dictamen emitido.
- Desarrollos de Cogeneración. Una opción que están aprovechando grandes empresas para generar energía eléctrica, aminorar la contaminación en sus procesos y abatir sus costos de producción.
- Envasadores de Gas Natural y comprimido.
- Empresas de capacitación sobre este tema.
- Empresas de diseño de Software, y venta de equipo de cómputo.
- Seguros y fianzas.
- Servicios financieros.
- Estrategias de comunicación y difusión.

La Asociación Mexicana de Gas Natural considera que la apertura en este sector abre una oportunidad enorme para las empresas fabricantes y distribuidoras de los insumos en esta industria. Y si se tiene un poco más de visión, incluso se puede pensar en vender todo lo antes mencionado en países de centro y Sudamérica o entrarle a este mercado pero en otras regiones del mundo.

Actualmente más del 80% de las importaciones de materiales para instalación de redes de gas depende de la empresa "Equipo para Gas"<sup>8</sup>

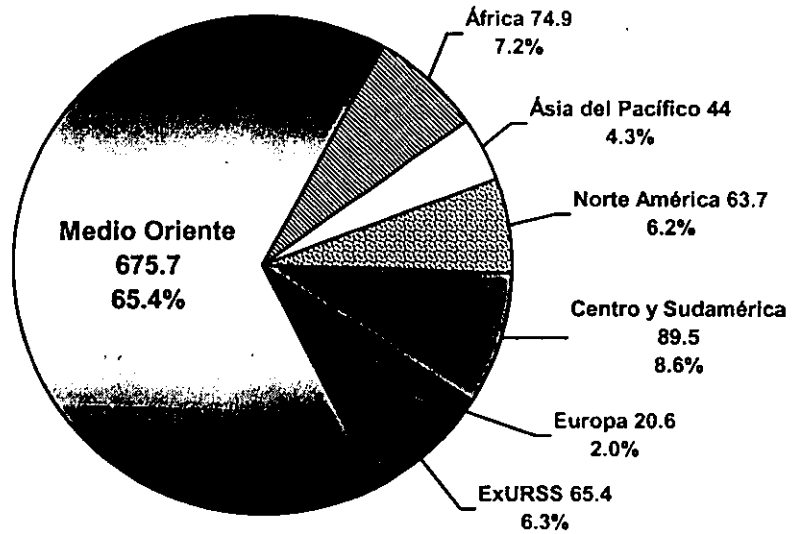
## 2.5 "PETRÓLEO"

### 2.5.1 Conceptos y definiciones.

- ◆ **PETRÓLEO:** Material que se encuentra naturalmente en el terreno, compuesto en forma predominante por mezclas de compuestos químicos de carbono e hidrógeno, con o sin elementos no metálicos, tales como azufre, el oxígeno, el nitrógeno, etc. El petróleo puede contener, o estar compuesto de los anteriores productos, en estado sólido, líquido o gaseoso, según sea la naturaleza del compuesto y la temperatura y la presión existentes.
  
- ◆ **Petróleo crudo:** Petróleo tal como sale de la tierra, es decir, en estado natural, sin procesar ni refinar. Está compuesto principalmente de hidrocarburos, con vestigios de azufre, nitrógeno y compuestos de oxígeno. Se encuentra líquido a la presión atmosférica, después de pasar por procesos de separación en la superficie, y no contiene productos de gas natural. Incluye los hidrocarburos líquidos iniciales producidos de las arenas con alquitrán, la gil zonita y los esquistos petrolíferos; el petróleo crudo obtenido por la destilación destructora del carbón bituminoso; el destilado que se obtiene de dicho petróleo crudo es el queroseno.
  
- ◆ **Petróleo con bajo azufre:** Con baja concentración de componentes portadores de azufre. Se le considera así, si contiene menos de 0.5% de azufre, como el de Louisiana, Libia y Nigeria.
  
- ◆ **Petróleo ligero:** Cualquiera de los productos procesados del petróleo crudo, hasta llegar, pero sin incluir, el primer destilado de aceite lubricante.
  
- ◆ **Petróleos pesados:** Petróleos destilados del alquitrán de carbón entre 230-330°C; pesados, espesos y viscosos. Habitualmente son residuos de refinería, comúnmente señalados como gas 5 y 6 Bunker C.
  
- ◆ **Petróleo rico:** Petróleo que contiene fracciones en disolución de gasolina natural.
  
- ◆ **Petróleo quemado como combustible:** Incluye el petróleo combustible, el petróleo crudo, el petróleo diesel y pequeñas cantidades de alquitrán y gasolina.
  
- ◆ **Petróleo sintético:** Petróleo producido artificialmente mediante procesos tales como el Bergius o el Fisher-Tropsch.

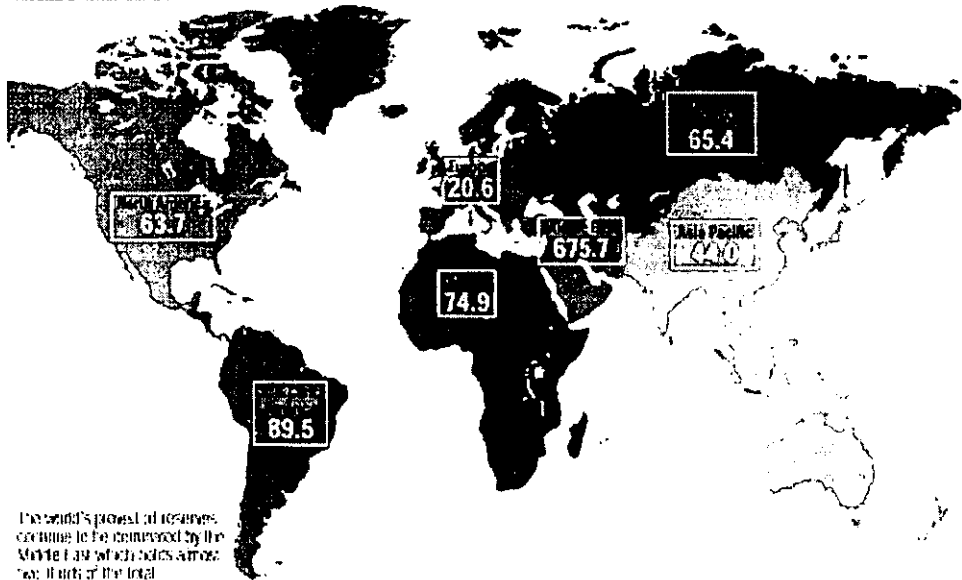
**2.5.2 Reservas Mundiales de Petróleo.**

**Gráfica No. 2.17 RESERVAS MUNDIALES DE PETRÓLEO 1999**  
 (Miles de millones de barriles)



Fuente: Internet: <http://www.bp.com/worldenergy/oil/index.htm>

**Proved reserves at end 1999**  
 Thousand million barrels



**Mapa No. 2.3 Reservas Probadas de Petróleo a finales de 1999**

Fuente: Internet: <http://www.bp.com/worldenergy/oil/index.htm> datos reportados durante el año 2000

Nota: Las cifras están en miles de millones de barriles



*El dilema de la energía*  
*Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Petróleo"*

**Tabla. No. 2.12 Reservas Mundiales de Petróleo**

<b>País ó Región</b>	<b>Fin de 1979</b> Miles de millones de barriles	<b>Fin de 1989</b> Miles de millones de barriles	<b>Fin de 1998</b> Miles de millones de barriles	<b>Fin de 1999</b> Miles de millones de barriles	<b>Fin de 1999</b> Miles de millones de Toneladas	<b>Fin de 1999</b> Porcentaje del total	<b>Fin de 1999</b> Relación Reserva/Producción R/P
EUA	33.7	33.6	30.1	28.6	3.5	2.8%	10.0
Canadá	8.1	8.4	6.8	6.8	0.8	0.7%	9.3
México	31.3	58.4	47.8	28.4	4.1	2.7%	24.5
<b>Total de Norte América</b>	<b>73.0</b>	<b>98.4</b>	<b>84.7</b>	<b>63.7</b>	<b>8.4</b>	<b>6.2%</b>	<b>13.8</b>
Argentina	2.4	2.3	2.6	2.7	0.4	0.3%	9.1
Brasil	1.2	2.8	7.1	7.3	1.0	0.7%	18.1
Colombia	0.7	2.1	2.6	2.6	0.4	0.2%	8.5
Ecuador	1.1	1.5	2.1	2.1	0.3	0.2%	15.3
Perú	0.7	0.4	0.3	0.4	†	†	8.9
Trinidad y Tobago	0.7	0.5	0.5	0.6	0.1	0.1%	12.9
Venezuela	17.9	58.5	72.6	72.6	10.5	7.0%	65.2
Otros de Cent. y Sud-América	0.6	0.6	1.2	1.2	0.2	0.1%	25.0
<b>Total de Cent. y Sud-América</b>	<b>25.2</b>	<b>68.7</b>	<b>89.0</b>	<b>89.5</b>	<b>12.9</b>	<b>8.6%</b>	<b>37.7</b>
Dinamarca	0.4	0.8	0.9	1.1	0.1	0.1%	9.7
Italia	0.6	0.7	0.6	0.6	0.1	0.1%	15.8
Noruega	5.8	11.5	10.9	10.8	1.4	1.0%	9.3
Rumania	n/a	n/a	1.4	1.4	0.2	0.1%	30.4
Reino Unido	15.4	4.3	5.2	5.2	0.7	0.5%	5.0
Otros de Europa	4.4	3.2	1.7	1.6	0.2	0.2%	13.3
<b>Total de Europa</b>	<b>26.6</b>	<b>20.5</b>	<b>20.8</b>	<b>20.6</b>	<b>2.7</b>	<b>2.0%</b>	<b>8.3</b>
Azerbaiyán	n/a	n/a	7.0	7.0	1.0	0.7%	69.5
Kazajstán	n/a	n/a	8.0	8.0	1.1	0.8%	36.5
Federación Rusa	n/a	n/a	48.6	48.6	6.7	4.7%	21.8
Turkmenistán	n/a	n/a	0.5	0.5	0.1	†	10.2
Uzbekistán	n/a	n/a	0.6	0.6	0.1	†	10.0
Otros de la ExURSS	n/a	n/a	0.7	0.7	0.1	0.1%	15.8
<b>Total de la ExURSS</b>	<b>67.0</b>	<b>58.4</b>	<b>65.4</b>	<b>65.4</b>	<b>9.0</b>	<b>6.3%</b>	<b>24.2</b>
Irán	58.0	92.9	89.7	89.7	12.3	8.7%	69.9
Iraq	31.0	100.0	112.5	112.5	15.1	10.9%	*
Kuwait	68.5	97.1	96.5	96.5	13.3	9.3%	*
Omán	2.4	4.3	5.3	5.3	0.7	0.5%	15.9
Qatar	3.8	4.5	3.7	3.7	0.5	0.4%	14.7
Arabia Saudita	166.5	257.6	261.5	263.5	36.0	25.5%	87.5
Siria	2.0	1.7	2.5	2.5	0.4	0.3%	12.3
Emiratos Árabes Unidos	29.4	98.1	97.8	97.8	12.6	9.4%	*
Yemen	-	4.0	4.0	4.0	0.5	0.4%	27.9
Otros de Medio Oriente	0.2	0.1	0.2	0.1	†	†	9.1
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>361.8</b>	<b>660.3</b>	<b>673.6</b>	<b>675.7</b>	<b>91.5</b>	<b>65.4%</b>	<b>87.0</b>
Algeria	8.4	9.2	9.2	9.2	1.2	0.9%	20.6
Angola	1.2	2.0	5.4	5.4	0.7	0.5%	19.0
Camerún	0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	†	11.6
Rep. del Congo	0.4	0.8	1.5	1.5	0.2	0.1%	14.1
Egipto	3.1	4.5	3.5	2.9	0.4	0.3%	10.0
Guinea Ecuatorial	-	-	†	†	†	†	0.3
Gabón	0.5	0.7	2.5	2.5	0.3	0.2%	20.1
Libia	23.5	22.8	29.5	29.5	3.9	2.9%	57.4
Nigeria	17.4	16.0	22.5	22.5	3.1	2.2%	30.6
Túnez	2.3	1.8	0.3	0.3	†	†	10.1
Otros de África	0.1	0.6	0.6	0.6	0.1	0.1%	8.1
<b>Total de África</b>	<b>57.1</b>	<b>58.8</b>	<b>75.4</b>	<b>74.9</b>	<b>10.0</b>	<b>7.2%</b>	<b>28.2</b>
Australia	2.1	1.7	2.9	2.9	0.4	0.3%	15.0

*El dilema de la energía*  
 Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Petróleo"

Brunei	1.8	1.4	1.4	1.4	0.2	0.1%	20.8
China	20.0	24.0	24.0	24.0	3.3	2.3%	20.6
India	2.6	7.5	4.0	4.8	0.6	0.5%	17.8
Indonesia	9.6	8.2	5.0	5.0	0.7	0.5%	9.7
Malasia	2.8	3.0	3.9	3.9	0.5	0.4%	14.0
Papúa Nueva Guinea	-	0.2	0.3	0.3	†	†	9.4
Tailandia	-	0.2	0.3	0.3	†	†	8.6
Vietnam	-	-	0.6	0.6	0.1	0.1%	5.7
Otros de Asia del Pacífico	0.4	0.4	0.7	0.8	0.1	0.1%	12.9
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>39.4</b>	<b>46.6</b>	<b>43.1</b>	<b>44.0</b>	<b>5.9</b>	<b>4.3%</b>	<b>16.3</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>650.1</b>	<b>1011.7</b>	<b>1052.0</b>	<b>1033.8</b>	<b>140.4</b>	<b>100.0%</b>	<b>41.0</b>
OCDE#	98.6	119.1	106.7	85.6	11.3	8.3%	11.8
OPEP	434.0	764.9	800.5	802.5	109.1	77.6%	77.4
No de la OPEP‡	149.1	188.4	186.1	165.9	22.3	16.0%	13.6

Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/oil/index.htm> datos reportados durante el año 2000

\*Más de 100 años.

†Menos de 0.05.

# Para el período 1979 & 1989 excluye los miembros de Europa Central.

‡Excluye a la ExURSS

## 2.5.3 Producción y Consumo.

Tabla No. 2.13

### Producción de Petróleo (miles de barriles por día)

### Consumo de Petróleo (miles de barriles por día)

País o Región	Producción de Petróleo (miles de barriles por día)						Consumo de Petróleo (miles de barriles por día)					
	1989	1997	1998	1999	Cambio entre 1998-1999	Porcentaje del Total de 1999	1989	1997	1998	1999	Cambio entre 1998-1999	Porcentaje del Total de 1999
EUA #	9160	8270	8010	7760	-3.8%	10.3%	16665	17770	18030	18490	2.2%	25.5%
Canadá	1960	2590	2670	2595	-3.5%	3.5%	1740	1800	1820	1800	-0.6%	2.4%
México	2895	3410	3500	3345	-4.8%	4.8%	1390	1680	1770	1775	-0.1%	2.3%
<b>Total de Norte América</b>	<b>14015</b>	<b>14270</b>	<b>14180</b>	<b>13700</b>	<b>-4.0%</b>	<b>18.6%</b>	<b>19795</b>	<b>21250</b>	<b>21620</b>	<b>22065</b>	<b>1.8%</b>	<b>30.2%</b>
Argentina	490	875	890	850	-4.9%	1.2%	415	465	485	490	0.8%	0.7%
Brasil	615	855	990	1115	13.0%	1.6%	1290	1730	1800	1805	-0.1%	2.4%
Chile	***	***	***	***	***	***	135	245	245	255	2.6%	0.3%
Colombia	405	665	775	840	8.2%	1.2%	200	270	265	240	-9.5%	0.3%
Ecuador	285	395	385	380	-0.5%	0.6%	95	140	145	135	-6.7%	0.2%
Perú	130	120	120	110	-7.9%	0.2%	120	150	155	155	1.3%	0.2%
Trinidad y Tobago	150	135	135	135	1.1%	0.2%	***	***	***	***	***	***
Venezuela	2010	3320	3510	3125	-11.3%	4.7%	390	450	475	480	1.3%	0.6%
Otros de Cent. y Sud-América	75	115	125	135	9.5%	0.2%	920	1090	1105	1115	0.8%	1.6%
<b>Total de Cent. y Sud-América</b>	<b>4160</b>	<b>6480</b>	<b>6930</b>	<b>6690</b>	<b>-3.7%</b>	<b>9.9%</b>	<b>3565</b>	<b>4540</b>	<b>4675</b>	<b>4675</b>	<b>-0.2%</b>	<b>6.3%</b>
Austria	***	***	***	***	***	***	215	245	255	250	-2.5%	0.4%
Bélgica y Luxemburgo	***	***	***	***	***	***	500	630	655	665	1.6%	0.9%
Bulgaria	***	***	***	***	***	***	220	100	90	90	2.2%	0.1%
República Checa	***	***	***	***	***	***	190	170	175	175	-1.1%	0.2%
Dinamarca	115	235	240	300	26.5%	0.4%	190	230	225	220	-0.9%	0.3%
Finlandia	***	***	***	***	***	***	230	215	220	225	1.5%	0.3%
Francia	***	***	***	***	***	***	1880	1950	2015	2045	1.5%	2.8%
Alemania	***	***	***	***	***	***	2595	2915	2915	2825	-3.1%	3.8%
Grecia	***	***	***	***	***	***	305	380	375	375	0.2%	0.5%
Hungría	***	***	***	***	***	***	190	150	155	150	-5.6%	0.2%
Islandia	***	***	***	***	***	***	15	20	20	20	5.4%	†
República de Irlanda	***	***	***	***	***	***	85	135	150	170	12.3%	0.2%
Italia	90	115	110	110	-	0.2%	1930	1970	1975	1955	-1.5%	2.7%
Holanda	***	***	***	***	***	***	735	855	855	880	3.0%	1.2%
Noruega	1585	3360	3215	3195	-0.6%	4.3%	200	225	215	215	1.2%	0.3%
Polonia	***	***	***	***	***	***	360	390	425	455	7.0%	0.6%
Portugal	***	***	***	***	***	***	230	290	315	320	2.1%	0.5%
Rumania	195	140	135	130	-2.3%	0.2%	345	275	240	195	-20.3%	0.3%
Eslovaquia	***	***	***	***	***	***	115	70	70	70	-1.5%	0.1%
España	***	***	***	***	***	***	1040	1290	1380	1405	1.5%	1.9%
Suecia	***	***	***	***	***	***	345	335	340	335	-0.5%	0.5%
Suiza	***	***	***	***	***	***	255	275	280	270	-3.1%	0.4%

*El dilema de la energía*  
*Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Petróleo"*

Turquía	***	***	***	***	***	***	440	645	640	630	-2.0%	0.8%
Reino Unido	1925	2705	2800	2895	3.4%	4.0%	1745	1755	1745	1705	-2.7%	2.3%
Otros de Europa	520	385	370	345	-7.7%	0.5%	395	325	350	345	-1.6%	0.5%
<b>Total de Europa</b>	<b>4430</b>	<b>6940</b>	<b>6870</b>	<b>6975</b>	<b>1.6%</b>	<b>9.6%</b>	<b>14750</b>	<b>15840</b>	<b>16080</b>	<b>15990</b>	<b>-0.7%</b>	<b>21.8%</b>
Azerbaiyán	270	185	230	280	20.8%	0.4%	165	120	120	125	7.3%	0.2%
Belarús	***	***	***	***	***	***	540	195	200	200	1.0%	0.3%
Kazajstán	535	535	535	630	15.7%	0.9%	375	205	170	130	-24.7%	0.2%
Federación Rusa	11135	6225	6170	6180	0.1%	8.8%	5075	2595	2485	2535	2.0%	3.6%
Turkmenistán	120	110	130	150	15.6%	0.2%	70	60	85	90	4.7%	0.1%
Ucrania	***	***	***	***	***	***	1165	275	285	265	-7.0%	0.4%
Uzbekistán	65	180	190	190	-0.9%	0.2%	265	135	140	145	1.4%	0.2%
Otros de la ExURSS	170	140	135	130	-3.7%	0.2%	655	165	170	165	-4.4%	0.2%
<b>Total de la ExURSS</b>	<b>12295</b>	<b>7375</b>	<b>7390</b>	<b>7560</b>	<b>2.1%</b>	<b>10.7%</b>	<b>8310</b>	<b>3750</b>	<b>3655</b>	<b>3655</b>	<b>-0.1%</b>	<b>5.2%</b>
Irán	2870	3725	3800	3550	-6.7%	5.1%	880	1255	1200	1230	2.7%	1.7%
Iraq	2840	1200	2160	2580	19.4%	3.6%	***	***	***	***	***	***
Kuwait	1410	2145	2195	2025	-8.2%	2.9%	150	160	165	170	3.4%	0.3%
Omán	650	910	905	910	0.7%	1.3%	***	***	***	***	***	***
Qatar	405	695	745	715	-4.4%	1.0%	***	***	***	***	***	***
Arabia Saudita	5635	9215	9220	8595	-7.0%	11.9%	1030	1200	1265	1335	6.2%	1.8%
Siria	340	580	580	560	-3.4%	0.8%	***	***	***	***	***	***
Emiratos Árabes Unidos	2025	2665	2725	2505	-8.7%	3.2%	225	350	345	345	-0.6%	0.5%
Yemen	180	370	380	395	4.6%	0.6%	***	***	***	***	***	***
Otros de Medio Oriente	55	50	50	50	***	0.1%	930	1295	1335	1385	3.9%	1.9%
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>16410</b>	<b>21555</b>	<b>22760</b>	<b>21885</b>	<b>-4.0%</b>	<b>30.5%</b>	<b>3215</b>	<b>4260</b>	<b>4310</b>	<b>4465</b>	<b>3.8%</b>	<b>6.2%</b>
Algeria	1275	1410	1385	1340	-4.0%	1.6%	195	185	195	200	4.4%	0.3%
Angola	460	740	730	780	6.9%	1.1%	***	***	***	***	***	***
Camerún	160	125	105	95	-9.7%	0.1%	***	***	***	***	***	***
República del Congo	160	235	275	295	7.0%	0.4%	***	***	***	***	***	***
Egipto	885	880	860	835	-3.7%	1.2%	460	530	560	575	1.8%	0.8%
Guinea Ecuatorial	-	65	90	100	9.7%	0.1%	***	***	***	***	***	***
Gabón	205	365	335	340	0.9%	0.5%	***	***	***	***	***	***
Libia	1165	1490	1480	1425	-3.8%	2.0%	***	***	***	***	***	***
Nigeria	1715	2305	2165	2030	-6.2%	2.9%	***	***	***	***	***	***
Tunez	105	80	85	85	1.4%	0.1%	***	***	***	***	***	***
Sudáfrica	***	***	***	***	***	***	350	445	450	460	2.5%	0.6%
Otros de África	35	75	70	120	71.3%	0.2%	915	1150	1175	1210	2.8%	1.7%
<b>Total de África</b>	<b>6165</b>	<b>7770</b>	<b>7580</b>	<b>7445</b>	<b>-2.0%</b>	<b>10.2%</b>	<b>1920</b>	<b>2310</b>	<b>2380</b>	<b>2445</b>	<b>2.6%</b>	<b>3.4%</b>
Australia	555	670	645	575	-10.7%	0.7%	680	825	825	840	2.6%	1.1%
Brunei	150	165	155	180	16.4%	0.3%	***	***	***	***	***	***
Bangladesh	***	***	***	***	***	***	40	55	55	60	0.9%	0.1%

China	2760	3210	3205	3195	-0.4%	4.6%	2260	4010	4160	4370	5.1%	5.8%
China Hong Kong SAR	***	***	***	***	***	***	125	190	185	190	4.4%	0.3%
India	730	790	780	775	-0.6%	1.0%	1165	1755	1835	2010	9.2%	2.7%
Indonesia	1480	1555	1520	1445	-4.7%	2.0%	550	965	915	965	5.6%	1.3%
Japón	***	***	***	***	***	***	5005	5785	5550	5650	1.5%	7.5%
Malasia	600	765	810	815	†	1.1%	230	430	405	375	-8.4%	0.5%
Nueva Zelanda	***	***	***	***	***	***	100	130	130	130	0.4%	0.2%
Pakistán	***	***	***	***	***	***	210	340	350	345	-1.7%	0.5%
Filipinas	***	***	***	***	***	***	225	390	390	375	-5.4%	0.5%
Papúa y Nueva Guinea	***	75	80	95	18.3%	0.1%	***	***	***	***	***	***
Singapur	***	***	***	***	***	***	375	560	560	545	-3.3%	0.8%
Corea del Sur	***	765	810	815	†	1.1%	855	2355	2010	2165	7.6%	2.9%
Taiwán	***	***	***	***	***	***	535	740	765	820	7.2%	1.2%
Tailandia	50	115	120	125	1.0%	0.1%	360	785	735	740	0.7%	1.0%
Vietnam	30	200	240	290	20.7%	0.4%	***	***	***	***	***	***
Otros de Asia del Pacífico	130	155	140	140	0.2%	0.2%	210	305	330	340	4.6%	0.5%
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>6485</b>	<b>7700</b>	<b>7695</b>	<b>7635</b>	<b>-0.7%</b>	<b>10.5%</b>	<b>12925</b>	<b>19620</b>	<b>19200</b>	<b>19920</b>	<b>3.6%</b>	<b>26.9%</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>63960</b>	<b>72090</b>	<b>73405</b>	<b>71890</b>	<b>-2.3%</b>	<b>100.0%</b>	<b>64480</b>	<b>71570</b>	<b>71920</b>	<b>73215</b>	<b>1.6%</b>	<b>100.0%</b>
OCDE	18760	21750	21565	21130	-2.4%	28.7%	40110	45415	45465	46140	1.3%	62.7%
15 de la Unión Europea	22830	29730	30910	29330	-5.4%	40.8%	12025	13195	13420	13375	-0.4%	18.3%
Otros de EME†	28840	34985	35110	34990	-0.5%	48.4%	14985	21635	22050	22720	3.0%	31.1%

Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/oil/index.htm> datos reportados durante el año 2000

†Menos de 0.05.

‡Excluye Europa Central y ExURSS

\*Incluye petróleo crudo, aceites de esquistos, arenas con petróleo y

GNL (Gas Natural Líquido - el contenido líquido del

Gas natural es recuperado y separado)

Excluye combustibles líquidos de otras fuentes como los derivados del carbón.

Nota: Otros en ocasiones incluye \*\*\*

ESTA TESIS NO SALE  
 DE LA BIBLIOTECA

*El dilema de la energía*  
 Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Petróleo"

**Tabla No. 2.14 Consumo de Petróleo por región y por producto**  
 (Millones de toneladas)

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Cambio entre 1998-1999	Porcentaje del Total de 1999
<b>Norte América</b>													
Gasolinas	383.5	378.5	373.6	376.9	383.1	388.4	397.5	405.2	411.5	424.1	<b>428.8</b>	1.1%	<b>41.0%</b>
Destilados Intermedios	268.4	266.8	260.7	266.6	273.3	287.6	287.4	300.7	309.8	312.4	<b>319.6</b>	2.3%	30.5%
Petróleo combustible	107.7	99.4	93.3	89.5	86.6	86.6	73.2	74.0	73.9	82.4	<b>77.3</b>	-6.2%	7.4%
Otros	180.9	182.6	183.2	195.3	194.5	203.7	197.4	209.1	212.2	209.7	<b>221.4</b>	5.6%	21.1%
<b>Total de Norte América</b>	<b>940.5</b>	<b>927.3</b>	<b>910.8</b>	<b>928.3</b>	<b>937.5</b>	<b>966.3</b>	<b>955.5</b>	<b>989.0</b>	<b>1007.4</b>	<b>1028.6</b>	<b>1047.1</b>	1.8%	100.0%
<b>Tan solo en EUA</b>													
Gasolinas	335.6	329.5	324.2	331.2	335.5	339.3	345.5	352.6	358.4	369.4	<b>373.3</b>	1.1%	<b>42.3%</b>
Destilados Intermedios	231.7	230.5	225.3	228.9	234.7	246.3	248.6	259.4	266.5	268.6	<b>274.5</b>	2.2%	31.1%
Petróleo combustible	75.0	67.2	63.0	59.4	58.3	55.1	45.8	45.7	42.7	47.7	<b>44.5</b>	-6.8%	5.0%
Distribución de las reservas	153.1	154.6	153.1	162.7	160.8	169.1	167.8	178.8	180.4	178.1	<b>190.5</b>	7.0%	21.6%
<b>Total de EUA</b>	<b>795.4</b>	<b>781.8</b>	<b>765.6</b>	<b>782.2</b>	<b>789.3</b>	<b>809.8</b>	<b>807.7</b>	<b>836.5</b>	<b>848.0</b>	<b>863.8</b>	<b>882.8</b>	2.2%	100.0%
<b>Cent. y Sud-América</b>													
Gasolinas	40.0	41.0	42.2	42.5	44.3	47.7	49.9	51.7	54.4	55.1	<b>55.3</b>	0.3%	25.3%
Destilados Intermedios	57.7	56.7	58.9	62.1	64.0	68.1	71.8	75.1	79.0	82.6	<b>82.6</b>	†	<b>37.7%</b>
Petróleo combustible	41.9	39.9	38.5	36.8	37.2	38.0	38.8	40.5	43.1	43.9	<b>42.8</b>	-2.5%	19.6%
Otros	28.2	28.8	28.9	34.5	33.3	32.9	33.8	35.4	36.3	37.5	<b>38.1</b>	1.6%	17.4%
<b>Total de Cent. y Sud-América</b>	<b>167.8</b>	<b>166.4</b>	<b>168.5</b>	<b>175.9</b>	<b>178.8</b>	<b>186.7</b>	<b>194.3</b>	<b>202.7</b>	<b>212.8</b>	<b>219.1</b>	<b>218.8</b>	-0.2%	100.0%
<b>Europa</b>													
Gasolinas	174.9	181.2	179.4	181.4	178.6	177.3	180.4	181.9	183.6	185.1	<b>185.1</b>	†	24.5%
Destilados Intermedios	268.8	272.7	279.6	281.8	284.2	284.7	292.4	308.3	310.6	320.5	<b>322.7</b>	0.7%	<b>42.7%</b>
Petróleo combustible	139.2	138.5	133.5	129.9	128.3	124.3	124.4	123.4	120.3	120.0	<b>114.0</b>	-5.0%	15.1%
Otros	117.4	117.7	118.0	120.8	120.6	124.7	126.2	127.7	134.0	135.0	<b>133.4</b>	-1.2%	17.7%
<b>Total de Europa</b>	<b>700.3</b>	<b>710.1</b>	<b>710.5</b>	<b>713.9</b>	<b>711.7</b>	<b>711.0</b>	<b>723.4</b>	<b>741.3</b>	<b>748.5</b>	<b>760.6</b>	<b>755.2</b>	-0.7%	100.0%
<b>Medio Oriente</b>													
Gasolinas	22.7	23.8	23.6	26.7	27.4	30.4	32.9	33.9	35.7	35.9	<b>36.6</b>	2.0%	17.0%
Destilados Intermedios	51.8	56.7	56.8	56.4	58.8	63.5	68.7	71.2	71.6	71.9	<b>74.3</b>	3.2%	<b>34.6%</b>
Petróleo combustible	57.3	58.5	65.9	62.3	61.0	61.9	63.3	67.2	68.5	69.4	<b>73.6</b>	6.1%	34.2%
Otros	24.7	25.6	23.1	26.9	29.3	28.0	26.5	27.8	28.6	29.8	<b>30.5</b>	2.1%	14.2%
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>156.5</b>	<b>164.6</b>	<b>169.4</b>	<b>172.3</b>	<b>176.5</b>	<b>183.8</b>	<b>191.4</b>	<b>200.1</b>	<b>204.4</b>	<b>207.0</b>	<b>215.0</b>	3.8%	100.0%
<b>África</b>													
Gasolinas	20.2	21.0	21.7	22.3	22.6	23.2	23.9	23.8	24.1	24.4	<b>24.7</b>	1.5%	21.4%
Destilados Intermedios	36.8	37.4	37.7	38.6	39.5	40.4	41.7	43.0	44.1	45.3	<b>47.0</b>	3.6%	<b>40.6%</b>
Petróleo combustible	22.1	23.2	23.3	23.6	23.0	23.2	24.4	25.0	26.0	27.1	<b>27.3</b>	0.7%	23.7%

Otros	12.5	12.6	12.8	12.9	14.0	14.5	14.8	15.1	15.2	15.7	16.5	5.0%	14.3%
<b>Total de África</b>	<b>91.6</b>	<b>94.2</b>	<b>95.5</b>	<b>97.4</b>	<b>99.1</b>	<b>101.3</b>	<b>104.8</b>	<b>106.9</b>	<b>109.4</b>	<b>112.5</b>	<b>115.5</b>	<b>2.6%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Asia del Pacífico (incluye china y Japón)</b>													
Gasolinas	118.5	131.0	137.3	149.3	156.9	162.9	175.0	185.1	201.8	210.2	223.8	6.4%	24.1%
Destilados Intermedios	226.6	238.4	251.6	271.3	289.1	300.8	323.0	344.8	356.6	344.8	360.6	4.6%	38.8%
Petróleo combustible	177.2	184.0	188.8	196.1	194.4	218.1	216.3	215.4	212.6	188.7	190.7	1.1%	20.5%
Otros	94.7	99.5	103.1	111.0	115.2	125.6	135.0	142.6	149.2	152.6	153.6	0.6%	16.6%
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>617.0</b>	<b>652.9</b>	<b>680.8</b>	<b>727.7</b>	<b>755.6</b>	<b>807.4</b>	<b>849.3</b>	<b>887.9</b>	<b>920.2</b>	<b>896.3</b>	<b>928.7</b>	<b>3.6%</b>	<b>100.0%</b>
<b>China</b>													
Gasolinas	20.0	26.0	27.6	30.6	34.5	30.5	32.3	36.0	40.8	47.1	52.1	10.6%	26.1%
Destilados Intermedios	31.5	29.6	33.1	38.4	43.5	42.6	48.3	52.5	58.2	61.9	68.6	10.7%	34.3%
Petróleo combustible	41.9	34.4	36.0	36.8	39.5	45.2	45.6	48.5	46.1	35.5	37.0	4.2%	18.5%
Otros	18.8	20.3	21.3	23.3	22.9	31.3	34.4	37.4	40.5	45.7	42.3	-7.4%	21.1%
<b>Total de China</b>	<b>112.2</b>	<b>110.3</b>	<b>118.0</b>	<b>129.1</b>	<b>140.4</b>	<b>149.6</b>	<b>160.6</b>	<b>174.4</b>	<b>185.6</b>	<b>190.2</b>	<b>200.0</b>	<b>5.1%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Japón</b>													
Gasolinas	49.4	51.0	52.8	55.9	56.4	60.1	64.5	65.9	68.6	67.1	71.0	5.8%	27.4%
Destilados Intermedios	79.2	83.1	86.5	88.4	89.6	92.1	95.3	98.2	96.2	94.2	95.4	1.3%	36.9%
Petróleo combustible	62.9	71.0	68.9	68.4	60.0	69.7	61.2	57.7	52.7	47.4	46.4	-2.1%	17.9%
Otros	41.3	42.6	43.9	45.9	46.7	46.4	47.5	48.1	48.7	46.2	46.0	-0.3%	17.8%
<b>Total de Japón</b>	<b>232.8</b>	<b>247.7</b>	<b>252.1</b>	<b>258.6</b>	<b>252.7</b>	<b>268.3</b>	<b>268.5</b>	<b>269.9</b>	<b>266.2</b>	<b>254.9</b>	<b>258.8</b>	<b>1.5%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Todo el mundo menos la ExURSS</b>													
Gasolinas	759.8	776.5	777.9	799.1	812.8	829.9	859.5	881.6	911.2	934.8	954.4	2.1%	29.1%
Destilados Intermedios	910.1	928.7	945.4	976.7	1008.8	1045.0	1085.1	1143.2	1171.7	1177.6	1206.7	2.5%	36.8%
Petróleo combustible	545.3	543.5	543.3	538.3	530.5	552.1	540.4	545.4	544.3	531.5	525.7	-1.1%	16.0%
Otros	458.5	466.8	469.1	501.5	506.9	529.6	533.7	557.6	575.6	580.5	593.5	2.2%	18.1%
<b>Balance mundial menos la ExURSS</b>	<b>2673.7</b>	<b>2715.5</b>	<b>2735.7</b>	<b>2815.6</b>	<b>2859.0</b>	<b>2956.6</b>	<b>3018.7</b>	<b>3127.8</b>	<b>3202.8</b>	<b>3224.4</b>	<b>3280.3</b>	<b>1.7%</b>	<b>100.0%</b>
<b>OCDE</b>													
Gasolinas	620.2	626.3	624.6	637.9	644.4	655.0	672.9	685.4	702.5	716.0	726.4	1.5%	33.5%
Destilados Intermedios	628.8	639.7	649.5	663.4	677.5	698.8	714.0	749.4	760.4	761.1	775.9	1.9%	35.7%
Petróleo combustible	307.8	307.9	302.4	301.7	289.5	299.3	277.8	274.2	266.4	262.2	253.2	-3.5%	11.7%
Otros	340.3	345.2	349.8	371.3	372.9	386.0	382.8	397.6	408.7	404.3	415.8	2.8%	19.1%
<b>Total de la OCDE</b>	<b>1897.1</b>	<b>1919.1</b>	<b>1926.3</b>	<b>1974.3</b>	<b>1984.3</b>	<b>2039.1</b>	<b>2047.5</b>	<b>2106.6</b>	<b>2138.0</b>	<b>2143.6</b>	<b>2171.3</b>	<b>1.3%</b>	<b>100.0%</b>
<b>15 de la Unión Europea</b>													
Gasolinas	146.9	153.0	153.5	155.9	152.9	150.8	152.4	153.2	154.2	154.9	154.5	-0.3%	24.4%
Destilados Intermedios	223.4	228.1	239.8	241.7	243.6	244.5	250.6	264.0	266.7	274.7	277.7	1.1%	43.9%
Petróleo combustible	103.7	102.7	101.1	103.1	100.3	97.9	97.6	95.9	92.8	94.4	89.2	-5.5%	14.1%
Otros	95.3	96.2	98.9	103.7	102.1	105.7	105.7	105.9	110.0	111.0	110.8	-0.1%	17.6%
<b>Total de los 15 de la Unión Europea</b>	<b>569.3</b>	<b>580.0</b>	<b>593.3</b>	<b>604.4</b>	<b>598.9</b>	<b>598.9</b>	<b>606.3</b>	<b>619.0</b>	<b>623.7</b>	<b>635.0</b>	<b>632.2</b>	<b>-0.4%</b>	<b>100.0%</b>

*El dilema de la energía*  
*Capítulo II Fuentes de energía no renovables "Petróleo"*

<b>Otros de EME</b>													
Gasolinas	130.4	141.6	145.6	154.3	161.8	168.2	179.0	188.4	200.6	210.6	<b>220.2</b>	4.6%	20.5%
Destilados Intermedios	267.0	275.7	285.5	303.0	321.4	337.2	361.2	382.9	400.6	405.5	<b>420.6</b>	3.7%	<b>39.1%</b>
Petróleo combustible	217.6	215.1	224.3	224.2	228.0	241.0	250.2	258.8	266.0	258.1	<b>262.2</b>	1.6%	24.4%
Otros	108.3	112.0	111.4	125.0	128.9	137.9	144.9	154.3	160.0	170.0	<b>172.1</b>	1.2%	16.0%
<b>Total de Otros de la EME ‡</b>	<b>723.3</b>	<b>744.4</b>	<b>766.8</b>	<b>806.5</b>	<b>840.1</b>	<b>884.3</b>	<b>935.3</b>	<b>984.4</b>	<b>1027.2</b>	<b>1044.2</b>	<b>1075.1</b>	<b>3.0%</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/oil/index.htm> datos reportados durante el año 2000

†Menos de 0.05.

‡Excluye Europa Central y la ExURSS

Nota: 'Gasolinas' consisten en gasolinas para avión, motores

'Destilados Intermedios' consiste en Kerosinas, gas y combustibles diesel (incluyendo Compartimientos navales)

'Petróleo combustible' incluye compartimientos navales.

'Otros' consiste en refinería de gas, LPG, solventes, coque de petróleo, lubricantes, bitumen, refinería de combustibles y merma.

Como puede verse, el uso el consumo de petróleo en norte América ocupa el primer lugar, ya que el número de vehículos por cada 1,000 habitantes, excede de 700 en EUA, mientras que en el resto del mundo, destaca el uso de los destilados intermedios.



**Tabla No. 2.15 Flujo Mundial del Petróleo 1999**  
(Miles de barriles por día)

País ó Región	"A"												Total	
	EUA	Canadá	México	Cent y Sud América	Europa Occidental	Europa Central	África	Australasia	China	Japón	Otros de Asia Del Pacífico	Resto del Mundo		No reconocidos*
<b>"Desde"</b>														
EUA	-	132	255	148	192	-	8	13	29	45	117	17	-	956
Canadá	1507	-	-	4	8	-	-	-	-	-	-	-	-	1520
México	1300	24	-	164	185	-	16	-	-	47	-	4	-	1739
Centro y Sud-América	<b>2609</b>	144	21	-	271	-	25	6	-	15	55	-	-	3145
Europa Occidental	795	457	10	76	-	239	191	-	86	20	102	48	-	2026
ExURSS	73	-	-	323	2268	702	16	-	66	2	104	47	418	4019
Europa Central	2	-	-	-	86	-	-	-	-	-	-	63	-	150
Medio Oriente	<b>2428</b>	<b>56</b>	<b>19</b>	<b>408</b>	<b>3797</b>	<b>241</b>	<b>703</b>	<b>177</b>	<b>348</b>	<b>4185</b>	<b>5916</b>	<b>63</b>	-	<b>18341</b>
África del Norte	278	68	21	22	1943	80	75	-	4	29	130	75	-	2726
África Occidental	1200	28	-	165	605	2	18	-	129	32	806	-	-	2985
África del Este y del Sur	-	-	-	-	-	-	-	-	14	8	30	-	-	53
Australasia	43	-	-	-	-	-	-	-	29	59	187	-	-	318
China	20	-	-	2	2	-	-	8	-	111	124	6	-	274
Japón	8	-	-	-	13	-	-	4	25	-	50	-	-	100
Otros de Asia del Pacífico	208	2	-	2	21	-	2	415	438	789	169	13	-	2059
No reconocidos ó desconocidos*	78	67	-	-	341	-	14	33	2	4	100	-	-	638
<b>TOTAL DE LAS IMPORTACIONES</b>	<b>10550</b>	<b>978</b>	<b>326</b>	<b>1314</b>	<b>9731</b>	<b>1264</b>	<b>1069</b>	<b>656</b>	<b>1170</b>	<b>5346</b>	<b>7890</b>	<b>335</b>	<b>418</b>	<b>41048</b>

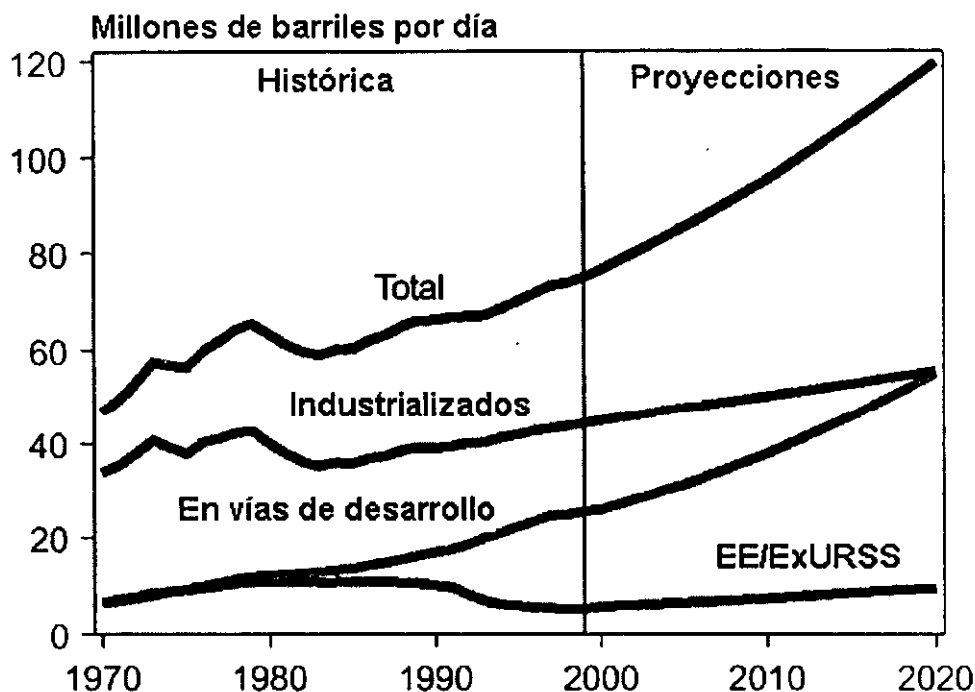
Fuente: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/oil/index.htm> datos reportados durante el año 2000

\*incluye cambios en la cantidad de petróleo, usos militares no identificados

Las demandas en el consumo de petróleo, han tenido un incremento constante ya que este, constituye la principal fuente de energía, y se extraen productos como las gasolinas, que son indispensables para el auto transporte en general, lo que es la base de desarrollo de muchos países, principalmente de EUA y Japón entre otros.

Tan solo en 1997 el 39% del consumo energético provino del petróleo principalmente en sectores como el sector industrial, transporte y para producir energía eléctrica.

Se espera que el consumo se eleve de 74.9 millones de consumo de barriles diarios de 1999 a 119.6 millones para el 2020, como se muestra a continuación.



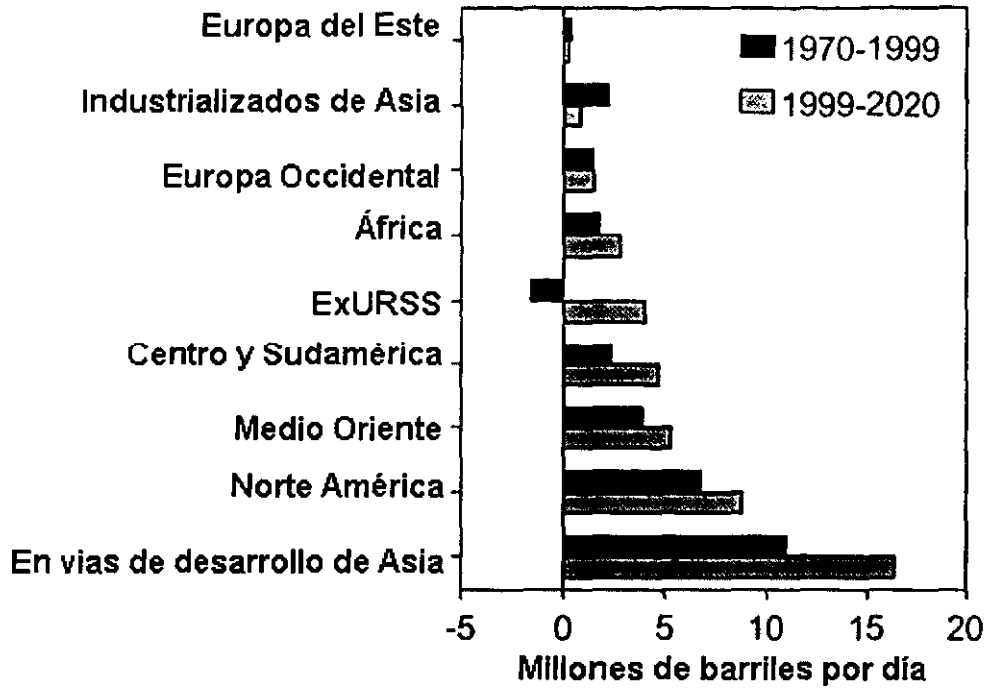
**Gráfica No. 2.18 Consumo mundial de Petróleo para el período 1970-2020**

**Fuentes:** *Histórica:* Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999* DOE/EIA-0219(99). (Washington, DC, January 2001. *Proyecciones:* EIA, World Energy Projection System (2001).

La dependencia de este recurso se irá agudizando en los países en vías de desarrollo, mientras que en los países industrializados, si bien, hoy en día son los que consumen más este recurso, la demanda no se incrementará notoriamente, ya que se le está dando impulso a otros tipos de fuentes de energía como son: gas natural y energías renovables, pero en algunos otros países como Francia y Japón se le está dando un gran auge a los reactores de regeneración rápida.

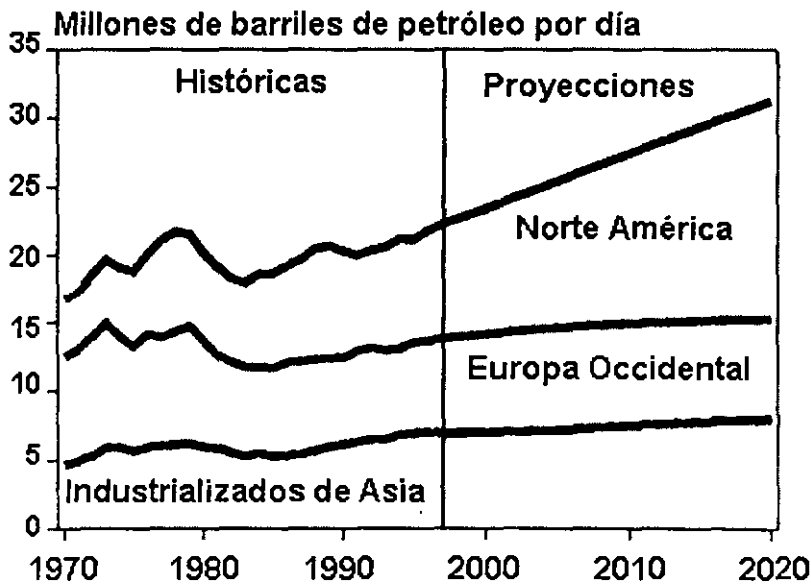
De acuerdo con la región, el consumo de petróleo esperado será:

De acuerdo con la IEO2001, el consumo de petróleo esperado en los países industrializados hasta el 2020 será de:



**Gráfica No. 2.19 Incremento en el consumo de Petróleo por región para los períodos 1970-1999 y 1999-2020.**

Fuentes: 1970 and 1999: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). 2020: EIA, World Energy Projection System (2001)



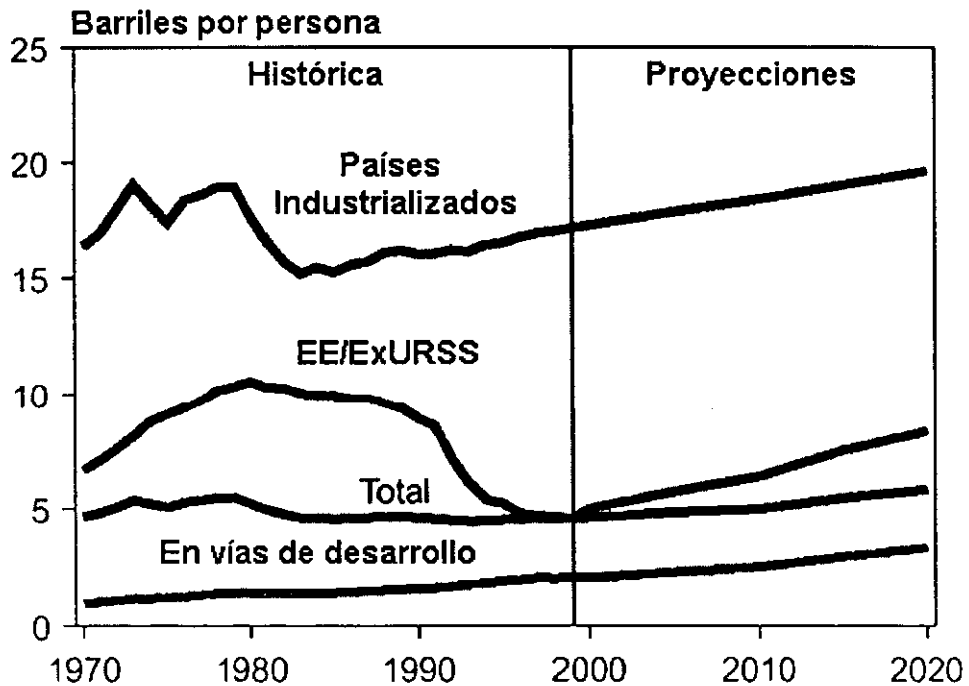
**Gráfica No. 2.20 Consumo de petróleo en los países industrializados para el período 1970-2020**

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2000).

Como puede observarse la economía dinámica de los EUA seguirá siendo quien destaque en el consumo del petróleo durante los próximos 20 años, por lo que es muy posible que sea México quien satisfaga sus requerimientos esperándose un crecimiento del 1.5% anual en la región de Norte América, mientras EUA podría exportar grandes cantidades de Gas Natural a México Centro y Sud-América, para tratar de nivelar su balanza comercial.

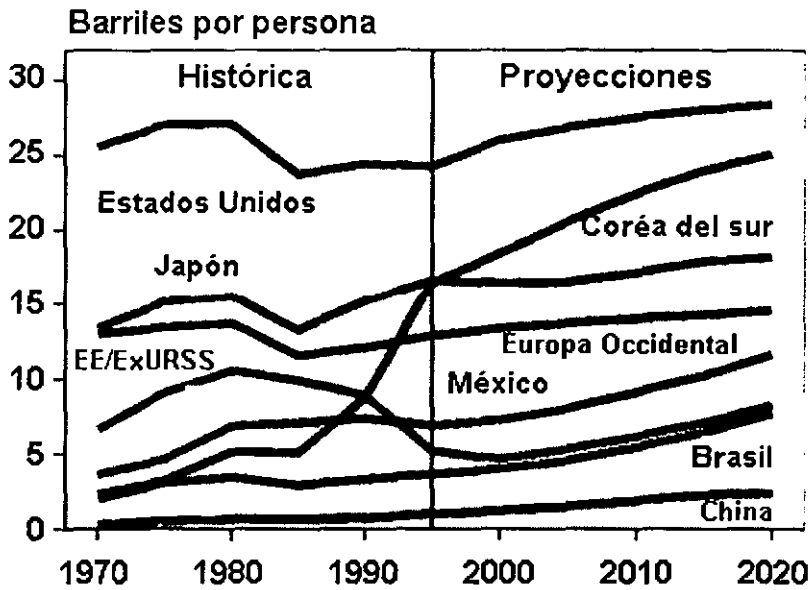
Que países de la ExURSS y el Este de Europa incrementen su demanda con respecto al gas, no quiere decir que disminuirán el consumo de petróleo, sino por el contrario; al haber un libre mercado en esa región a partir de la caída del comunismo, es de esperarse un aumento en su consumo y sobre todo porque en dicha región se encuentran ricos yacimientos de petróleo y posiblemente otros por descubrir; sin embargo, en regiones como Norte América y los países en vías de desarrollo aparentemente no se presentarán un gran aumento en la demanda, lo que resulta engañoso ya que el consumo requerido para dichas regiones es un tanto exorbitante, si se compara con otras regiones del mundo, por lo que se espera que el impacto ambiental generado en dichas regiones, incrementará las emisiones de carbono, principalmente en países como China, India y la Ciudad de México entre otras.

A continuación se presenta una gráfica donde se visualiza el promedio en el consumo de petróleo por persona a nivel mundial.



**Gráfica No. 2.21 Consumo de barriles de petróleo por persona para el período 1970-2020**

Fuentes: **Históricas:** Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). **Proyecciones:** EIA, World Energy Projection System (2000)



Gráfica No. 2.22 Consumo de barriles de petróleo por persona para el período 1970-2020

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2000)

Si bien el consumo por habitante se ha incrementado en países como Japón, es alarmante ver el despilfarro que existe en países como Corea del Sur, donde el incremento que ha tenido durante la última década ha sobrepasado el de Japón tendiendo a alcanzar al de EUA.

Mientras que en países como China su consumo es muy limitado, pero posee nada más y nada menos que arriba de 1,262 millones de habitantes, o sea, la quinta parte de la población terrestre.

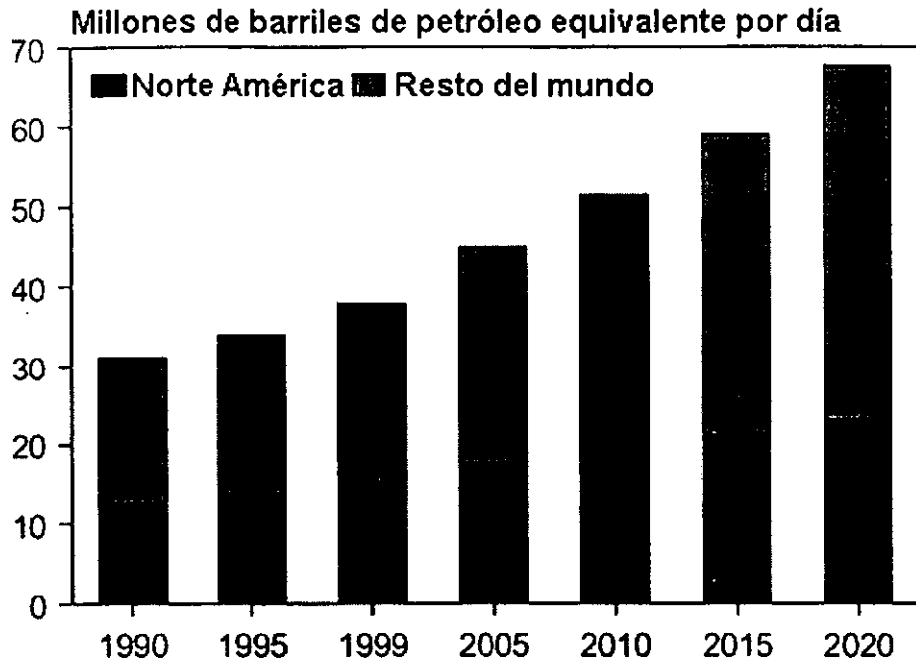
Desgraciadamente la falta de conciencia, y de cultura generó dependencia del petróleo, por lo que países como Alemania no solo están buscando nuevas alternativas para la generación de nuevos productos poliméricos provenientes de azúcares entre otros, sino también el reciclaje, minimizando los costos de operación así como de materias primas.

#### 2.5.4 Consumo de petróleo para el transporte.

Uno de los sectores que consume grandes cantidades de petróleo es el del transporte.

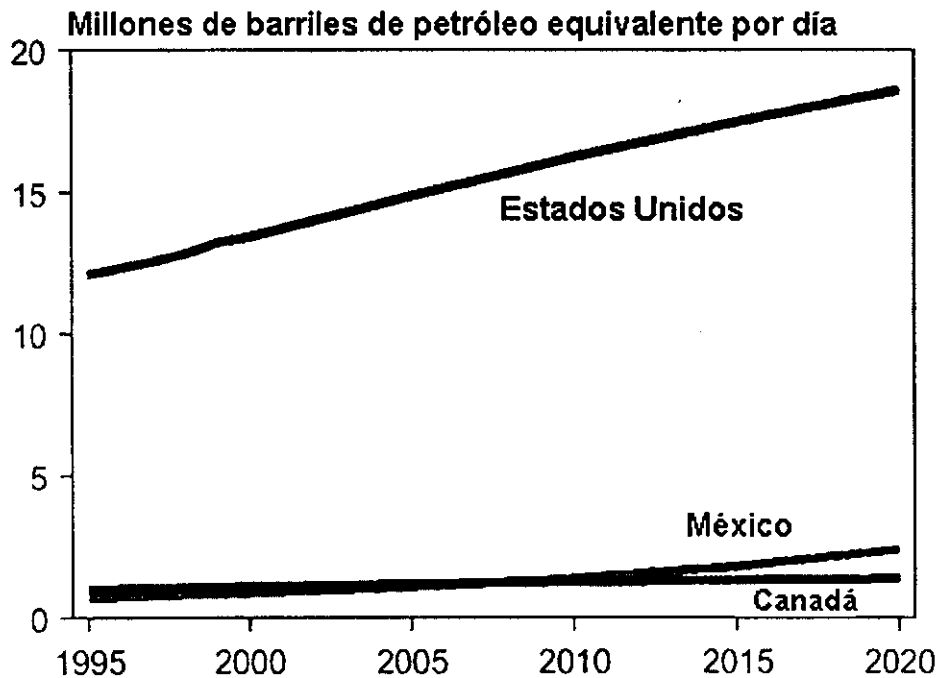
Desgraciadamente es triste saber que, del petróleo se pueden obtener productos con un gran valor agregado, además de que a la naturaleza le tomó tantos millones para poder sintetizar tantos productos que contiene su mezcla para quemarlo en un motor en un instante.

Pero por lo que parece, ante las necesidades de muchos países, darle un buen uso a este recurso está muy lejos de convertirse en una realidad ya que las proyecciones del uso en dicho sector se irán acentuando, incrementando con esto las emisiones de carbono a la atmósfera.



Gráfica No. 2.23 Consumo de petróleo para el transporte para período 1990-2020

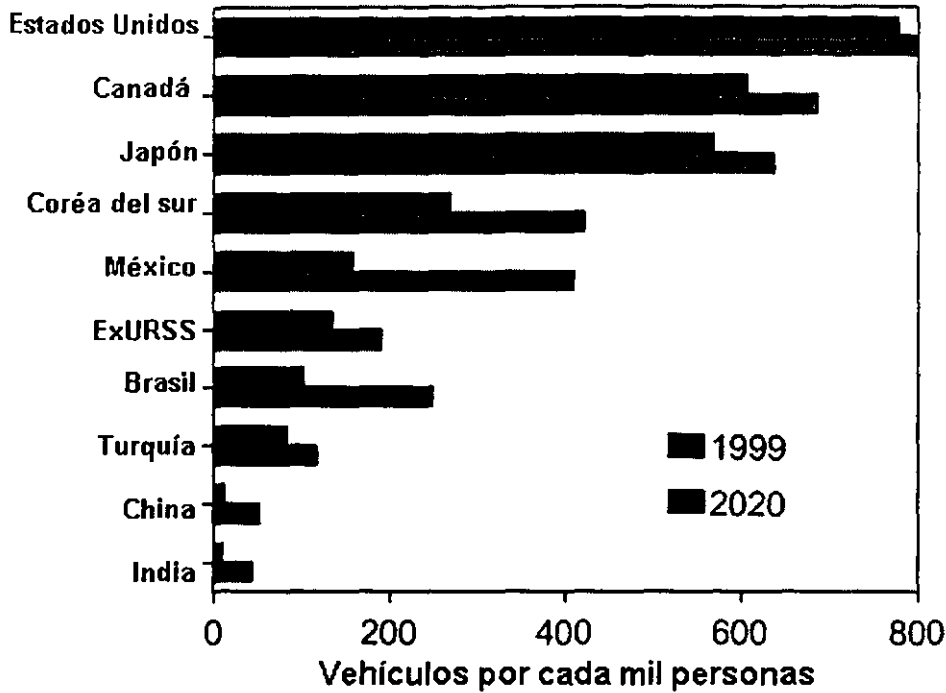
Fuentes: Histórica: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, D.C. January 2001). Proyección: EIA, World Energy Projection System (2001).



Gráfica No. 2.24 Consumo de petróleo para el transporte en Norte América para período 1995-2020

Fuentes: Histórica: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, D.C. January 2001). Proyección: EIA, World Energy Projection System (2001).

A continuación se da una relación del número de vehículos por habitante para algunos países.



Gráfica No. 2.25 Número de Vehículos por cada 1,000 personas para el período 1999-2020

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, D.C. January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

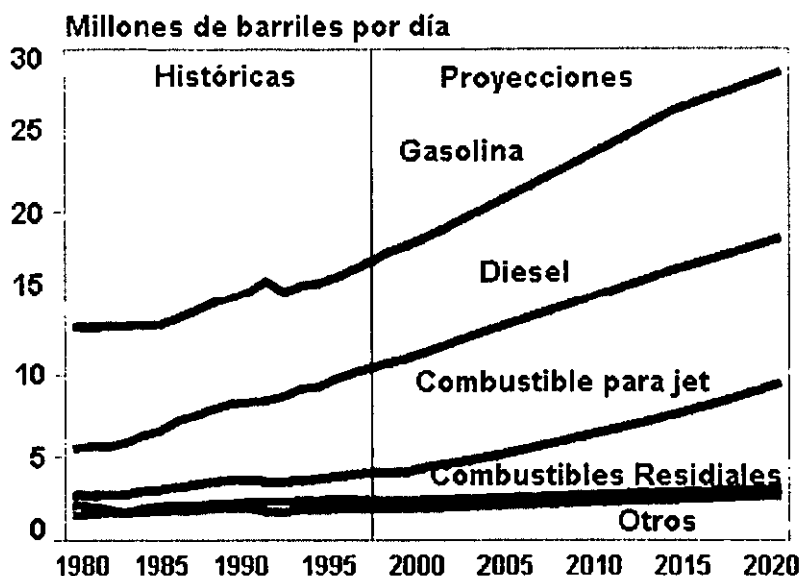
Los principales consumidores en el ámbito mundial de gasolinas son los Estados Unidos, Canadá y Japón, irónicamente tanto Estados Unidos como Japón son los principales importadores de Petróleo a nivel mundial, mientras que en Brasil se espera un gran incremento en el número de automóviles para los próximos 20 años, provocando una demanda mayor de gasolinas que tendrán que ser importadas, ya que actualmente el alcohol producido no satisface su demanda.

Esto demuestra que no se necesita tener recursos para ser una economía próspera siempre y cuando se tenga un gobierno con visión, y un pueblo trabajador para generar riqueza, mientras que países como México en vez de aprovechar estas ventajas, su economía no proyecta las ventajas de poseer materias primas y sobre todo energéticos.

Además, puede observarse que el aumento en el consumo de petróleo se da principalmente en los países industrializados, ya que la gente cuenta con un ingreso per. cápita, suficiente para la adquisición de uno o más automóviles, así como de la existencia de un gran número de camiones, tan sólo EUA posee casi 7.5 millones de trailers, comparado a los 350 mil que hay en México.

En lo referente a algunos derivados importantes del petróleo destacan:

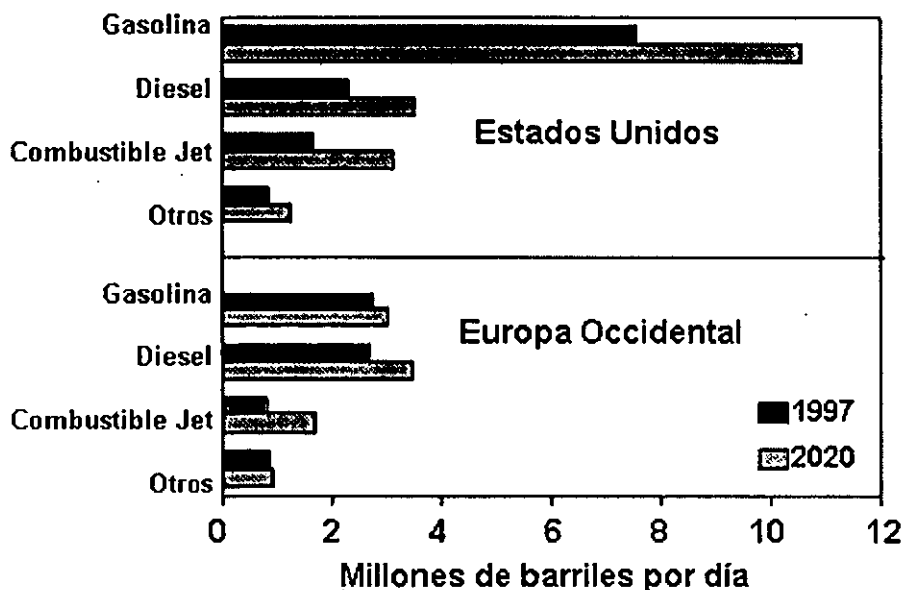
Las gasolinas, diesel, combustible para motor a chorro (jet fuel) el cual incluye los tipos nafta y queroseno usados en los aviones con motor tipo turbina, combustibles residuales y otros, como se muestra a continuación.



**Gráfica No. 2.26 Consumo Mundial de combustibles para el transporte derivados del petróleo para el período 1980-2020.**

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2000).

Si comparamos el consumo de petróleo de EUA, con respecto al consumo de otra región industrializada como Europa Occidental se puede observar que la dependencia de este recurso en EUA es enorme, mientras que en Europa se está recurriendo a otras opciones, por lo que su consumo no es tan elevado.



**Gráfica No. 2.27 Consumo de combustible para el transporte derivado del petróleo en los EUA comparado con Europa Occidental, para el período 1997-2020.**

Fuentes: 1997: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1997*, DOE/EIA-0219(97) (Washington, DC, April 1999). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2000)



El uso de las gasolinas, ha afectado principalmente a EUA debido al actual incremento en los precios del petróleo, ya que su consumo al ser sumamente elevado y al no tener grandes yacimientos de petróleo, se ha visto obligado a presionar a países como México, para que incrementen la producción de crudo y bajar los actuales precios.

Se prevé que el consumo en este sector en los EUA se incremente constantemente en 1.8% hasta el 2020.

En lo que se refiere a la eficiencia de los motores, según expertos podría pasar de 28.4 a 31.6 millas por galón para el 2020, además, las nuevas tecnologías esperan un incremento en el uso de gas natural, metano, hidrógeno líquido, E85 que es una mezcla de 85% etanol y 15% gasolina; equivaliendo todos estos nuevos combustibles en cerca de 406,000 barriles de petróleo por día para el 2020, lo que sería cerca del 4% de todo el combustible consumido por vehículos solo en EUA.

En lo referente a los vuelos aéreos, estos han de incrementarse pero se espera que las eficiencias mejoren por más del 17% de 1999 hasta el 2020 comparado con los resultados obtenidos en 1998.<sup>9</sup>

Esto se deberá principalmente a que se espera mejorar los diseños y eficiencias en las toberas hasta en un 10% y en el uso de nuevos materiales más ligeros y que presenten menos resistencia al aire hasta en un 15%.

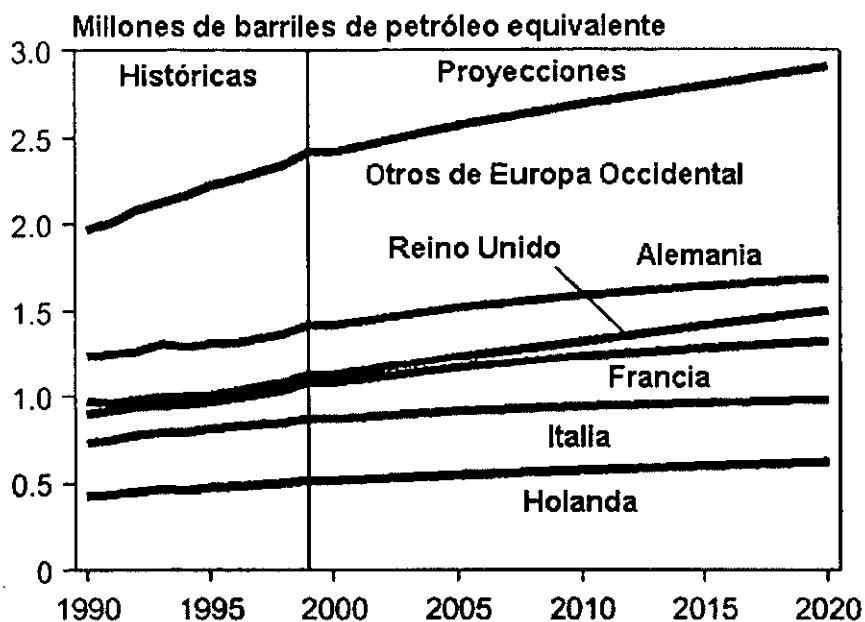
**En Europa Occidental** se espera un incremento en el uso de combustibles para el transporte en 1% anual hasta el 2020. Debido a que carecen en muchos de estos países de petróleo, en los últimos años se han invertido grandes capitales para el desarrollo de tecnologías alternas que no dependan del petróleo así como evitar las emisiones de carbono, esperándose que para el 2008, el 25% de sus vehículos habrán disminuido drásticamente dichas emisiones.

En países como Francia, a finales de 1999 350 camiones, trabajaban con gas natural, para finales del 2001 la cifra esperada será de hasta 1150 y cerca de 3,000 automóviles.<sup>10</sup>

En Alemania el uso de las gasolinas durante la década de los 90 disminuyó incrementándose el uso de carros con diesel,<sup>11</sup> creciendo el consumo en un 28% entre 1990-1997. También se ha incrementado el uso del automóvil drásticamente, ya que antes de la caída del muro en 1989, Alemania del Oriental poseía 235 carros por cada 1,000 habitantes, comparado con 480 en Alemania Occidental. Ya para 1999 en toda Alemania se tenían casi 600 por cada mil habitantes.

En 1999 Australia el número de vehículos por cada mil habitantes era de 637 comparado con 509 de Europa Occidental y 773 de los EUA.

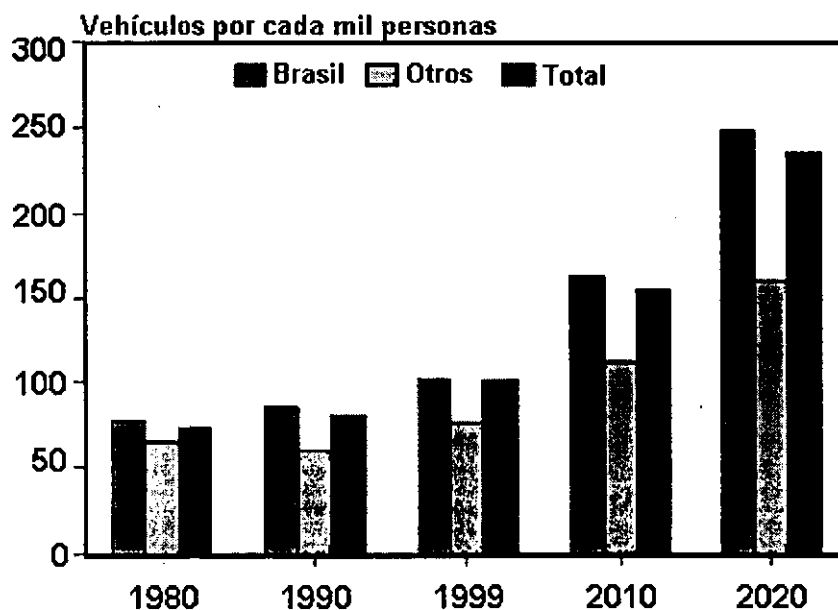
Existen algunos países en esta región donde su economía es muy dinámica y requieren de aeropuertos para conectarse al resto del mundo, tan solo Japón posee más de 170 aeropuertos y se espera que el número de autos pase de 554 reportados en 1997 a 638 por cada mil habitantes.<sup>12</sup>



Gráfica No. 2.28 Consumo de petróleo para el transporte en Europa Occidental para el período 1990-2020.

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

En países de Centro y Sudamérica se espera un incremento de automotores de 4.2% anual pasando de 100 vehículos por cada mil habitantes en 1999 a 236 para el 2020 teniendo un crecimiento total de 125%, como se muestra a continuación.

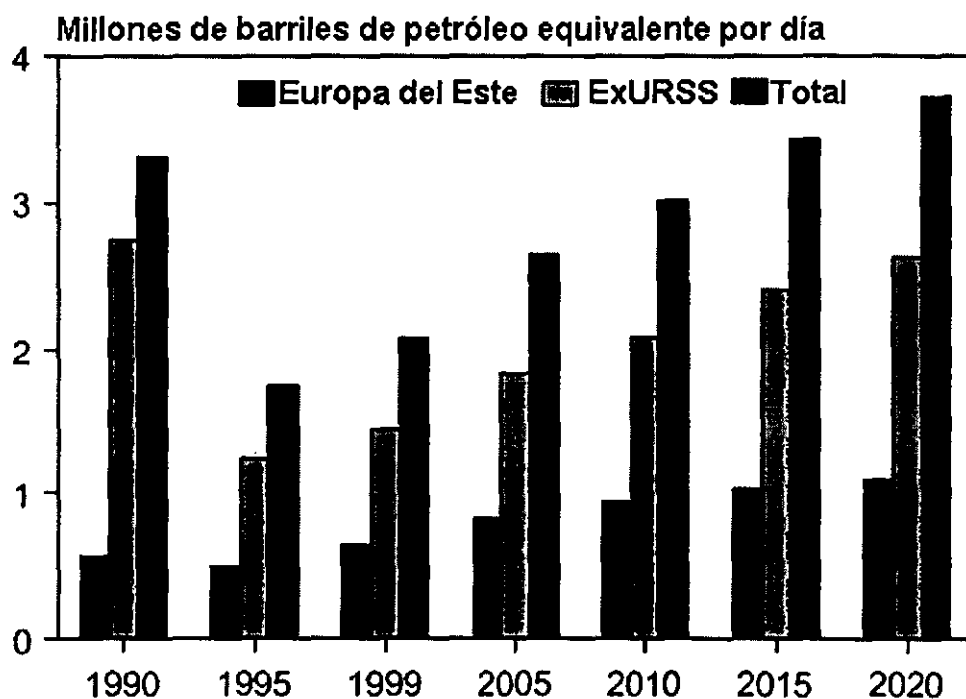


Gráfica No. 2.29 Incremento del número de vehículos por cada mil personas en Brasil vs. Centro y Sud-América para el período 1980-2020

Fuentes: Históricas: American Automobile Manufacturers Association, *World Motor Vehicle Data* (Detroit, MI, 1997). 1999, 2010, 2020 EIA, World Energy Projection System (2001).

El consumo de energéticos en Brasil es muy elevado ya que esta encima de lo consumido en 2 regiones importantes del mundo. Por lo que se puede esperar que si bien durante los próximos años no se introducen nuevas tecnologías, Brasil se verá obligado a consumir cantidades muy significativas de petróleo, proveniente de Venezuela ó de México; ya que actualmente la producción de caña de azúcar para elaborar metanol ha sido sobrepasada por la cantidad de vehículos que ahí transitan, por lo que se han visto obligados a importar gasolinas.

En países del Este Europeo y la ExURSS se espera que el consumo de energéticos para el transporte crezca de la siguiente manera.

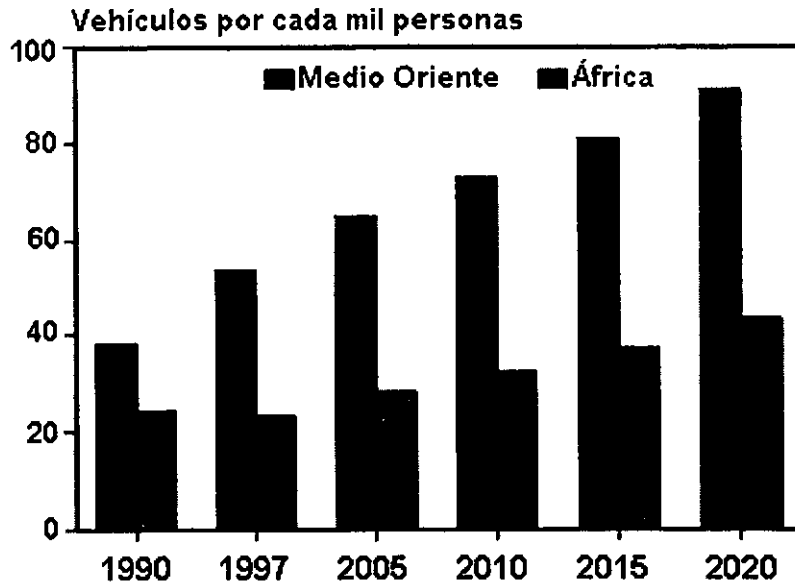


Gráfica No. 2.30 Consumo de energéticos para el transporte en Europa del Este y ExURSS para el período 1990-2020.

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), derived from *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

Se puede observar un decremento en el uso de combustibles para el uso de transporte en la ExURSS, últimamente esto se ha invertido, proyectándose en la actualidad un consumo creciente, ya que durante los últimos años ha entrado capital extranjero a la región, reactivando su economía que todavía esta en un proceso de transición. Pero se espera un incremento notorio para el 2020, ya que varios países como son Ucrania y Rusia entre otros, poseen ricos yacimientos de minerales y energéticos que demandarán países de Europa Occidental y países Asiáticos como China e incluso EUA.

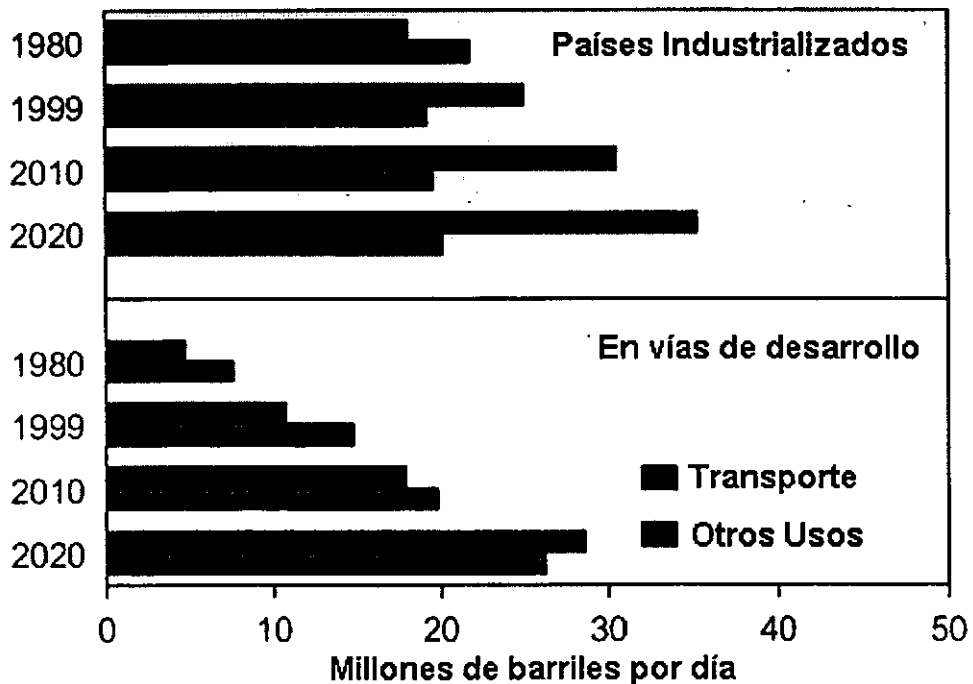
Por último, el crecimiento de automotores en África y Medio Oriente esperado para el 2020 es el siguiente.



**Gráfica No. 2.31 Incremento del número de vehículos por cada mil habitantes en Medio Oriente y África para el período 1990-2020**

Fuentes: Históricas: American Automobile Manufacturers Association, *World Motor Vehicle Data* (Detroit, MI, 1997. Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2000).

En conclusión el aumento esperado del consumo de petróleo para transporte a nivel mundial hasta el 2020 será de:



**Gráfica No. 2.32 Consumo Mundial de petróleo en el transporte en países Industrializados vs. el resto del mundo para el período 1980-2020**

Fuentes: 1990 and 1999: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

En el sector del transporte, en todos los países la tendencia va en incremento, en algunos países incluso el salto para el 2020 es verdaderamente espectacular, por lo que el uso del petróleo durante los próximos 20 años representará un papel importante, sobre todo en países en vías de desarrollo, mientras que en los países industrializados, la tendencia es: el uso de gas natural, E85, sistemas híbridos, o energía renovable entre otros.

### **2..5.5 Aspecto económico.**

Como puede observarse en la siguiente gráfica, a partir del 01 de enero del 2000 hasta casi finales del 2000, se dio un gran incremento en el costo del petróleo, para este caso el Brent, el cual tuvo un incremento de más de 20 dólares por barril.



**Gráfica No. 2.33 Precio Internacional del petróleo Brent para el período 1997-01/01/2001**

Fuente: Internet <http://www.bcentral.cl/Comunicaciones/Exposiciones/pr46/sld010.htm>

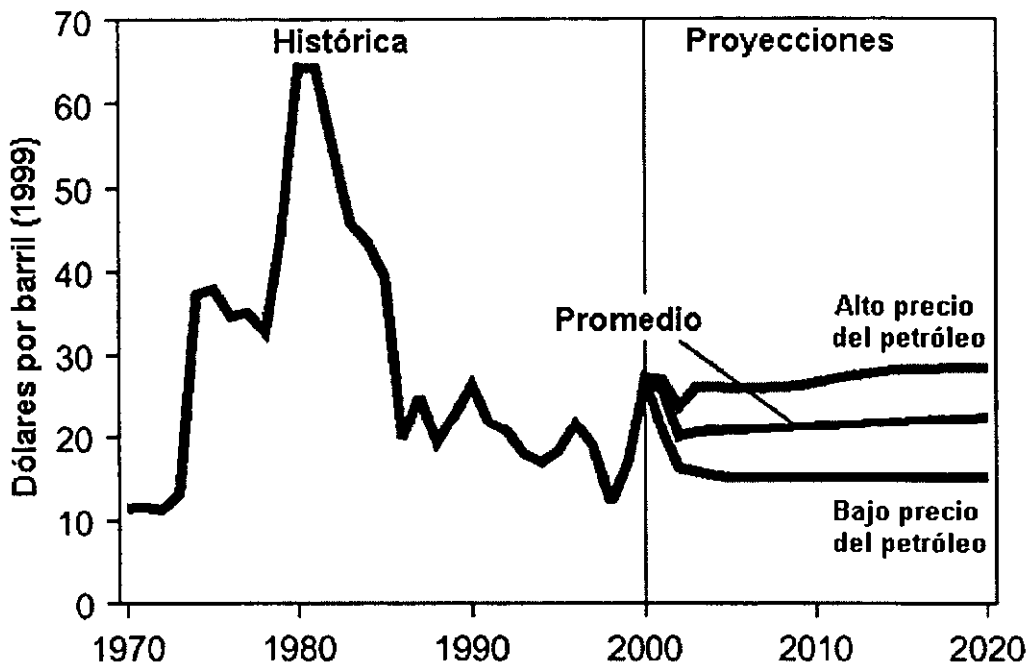
Presentación de Jorge Desormeaux, Consejero del Banco Central, en el Seminario Proyecciones Económicas 2001, organizado por la Cámara de Comercio de Santiago. Enero 16, 2001

Si bien el alza en el precio del petróleo benefició a muchos, a otros no; principalmente a países en vías de desarrollo, ya que lo que para ellos es un costo adicional fuerte, llegará el momento en que no podrán importar más petróleo, ya que su balanza de pagos no aguantará y no podrá seguir aguantando para pagar estos productos.

Mientras tanto en algunos países del primer mundo, ante el alza en los precios, se han visto obligados a recurrir a otras fuentes de energía de carácter renovable.

Si bien una buena parte de la demanda petrolera iba al sector eléctrico, ahora se ha ido disminuyendo, ya que las plantas de ciclo combinado de acuerdo con el gas natural son más eficientes flexibles y baratas. Por lo que hoy en día el mercado más importante es el sector automotriz.

Sin embargo, se trata de un mercado atacado por nuevas tecnologías, como por ejemplo: los llamados automóviles híbridos que aparte de gasolina pueden usar gas ó electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables.



Gráfica No. 2.34 Precio del petróleo Brent para el período 1970-2020

Fuentes: 1990 and 1999: Energy Information Administration (EIA), *Annual Energy Review 1999*, DOE/EIA-0384(99) (Washington, DC, July 2000). Proyecciones: 2000-2002 EIA, 'Short Term Energy Outlook', on line version (January 8-2001), Annual Energy Outlook 2001, DOE/EIA-0383 (2001) (Washington, DC, December 2000).

### 2.5.6 Perspectivas en México.

Con el incremento en el precio del petróleo, ha causado que el quemar diesel y combustóleo para la generación de energía eléctrica sea poco competitivo frente a otras fuentes de energía.

Es por eso que actualmente los nuevos proyectos en el sector eléctrico están encaminados en un gran porcentaje al uso de gas natural en plantas de ciclo combinado, mientras que en países de la union europea se está recurriendo a fuentes de energía renovables como la eólica, e hidráulica principalmente.

Durante los últimos 4 años, a pesar de que la iniciativa privada invirtió 14,545 millones de dólares en PEMEX exploración y producción, esto no impidió que las reservas disminuyeran estrepitosamente durante el año 2000 ya que se pretendía incorporar a las reservas 3,162 millones de barriles de crudo, pero por el contrario ocurrió un descenso en 5.7% en comparación a 1999, cayendo las reservas como se muestra a continuación:

<b>Tabla No. 2.16 Reserva de petróleo en los siete principales campos 2000-2001</b> (millones de barriles de petróleo crudo equivalente-mmbpce)			
Región	Campo	01 de enero 2000	01 de enero 2001 -
Noreste	Cantarell	15,044	14,121.3
	Ku-Maloob-Zab	5,319	4,796.6
Suroeste	Abkatún	1,624	1,441.8
	Pol-ChucI	1,115	1,021.3
Sur	Samaria Sito Grande	3,585	3,458.0
	Jujo-Tecominoacán	2,065	1,928.6
Norte	Poza Rica	12,671	12,257.2
<b>Total</b>		<b>41,423</b>	<b>39,024.8</b>

Fuente: El Universal 21 Mayo 2001 datos de energía de El Sector Energía en México, Análisis y Prospectivas, Luis Tellez Kuenzler; Informe estadístico de Labores 2000.  
 Nota: Estos siete campos representan el 75% de las reservas Nacionales, siendo en estos donde se presentó una caída del 5.7% de las reservas equivalente a 2.1 años de producción a los actuales ritmos de extracción.

Esto se dió como resultado de haber exportado cada vez más con tal de propiciar una caída en los precios del crudo.

Estas cifras presentan que en teoría las reservas están aseguradas para poco menos de cuatro décadas según la relación reservas vs. producción, pero lo que no se dice es que estos pueden ser un espejismo ya que si consideramos que México posee **56,154 millones de barriles**, estas se encuentran consideradas de la siguiente forma.

**32,614 millones** de estos son **reservas probadas (58%)** siendo el **90% económicamente rentables**, según la metodología asumida por el gobierno federal que adopto criterios de la Society of Petroleum Engineers (SPE) donde participan más de 50 mil profesionales de la industria mundial de petróleo y gas y el World Petroleum Congress (WPC).

Otros **12,196 millones de barriles** considerados como reservas "**probables**" y se caracterizan por ser **50% económicamente rentables** y finalmente **11,343 millones de barriles de crudo**, del cual sólo el **10%** es económicamente rentable.

Además para el año 2025 se estima que la población nacional se incrementará pasando de los casi 100 millones actuales a 150 millones ( un incremento de 50% tan solo en los próximos 25 años), así como la demanda por parte del vecino del Norte lo cual implica que de no encontrarse nuevos yacimientos, estos solo podrían estar asegurados solo para 2 ó 3 décadas.

Desde luego se tiene pendiente el desarrollo de yacimientos en aguas profundas del golfo, ahí donde los EUA están teniendo mucho éxito y posiblemente si nos descuidamos de aquí a que sé de la explotación en estas grandes reservas podrían ser succionadas por empresas productoras de los Estados Unidos.

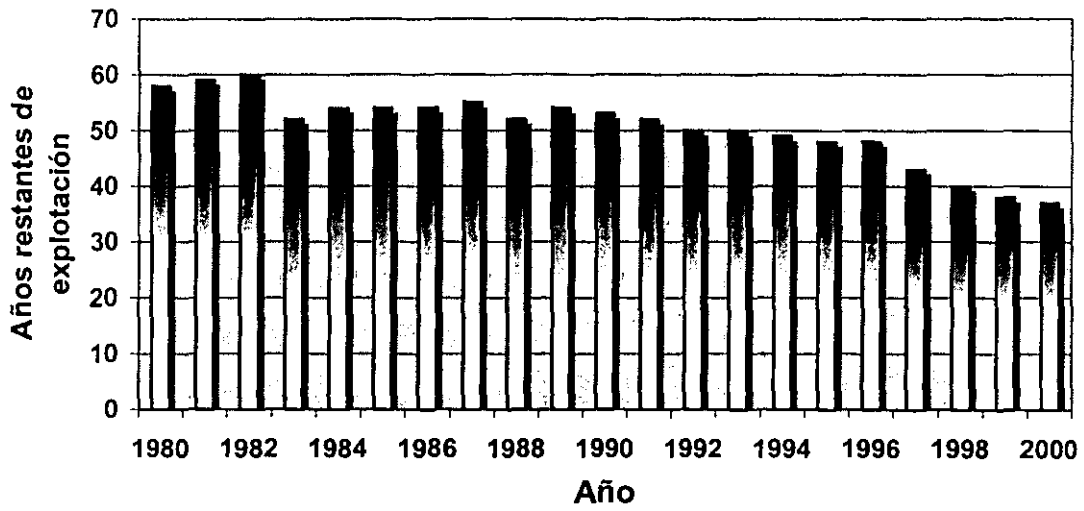
Aunque se encontraran nuevos yacimientos, esto no es pretexto para seguir despilfarrando y lapidando dichos recursos, por lo que es necesario replantear el esquema energético ya que se recomienda primeramente, darle un impulso al sector petroquímico ya que en este, se pueden generar productos con un alto valor agregado en vez de seguir exportando barriles de petróleo a un costo insignificante de 20-25 dólares por barril.

<b>Tabla No 2.17 Reservas de Hidrocarburos</b>				
Año	Reservas Nacionales (Millones de Barriles)		Total	Relación Reservas/ Producción. ( Años )
	Gas seco	Crudo y Condensados		
<b>1980</b>			45,803	58
<b>1985</b>	15,340	49,260	71,750	54
<b>1990</b>	14,467	45,250	66,450	53
<b>1995</b>	13,445	49,775	63,220	48
<b>1996</b>	13,262	48,796	62,058	48
<b>1997</b>	12,428	48,472	60,900	43
<b>1998</b>	12,338	47,822	60,160	40
<b>1999</b>	12,093	46,590	58,683	39
<b>1999*</b>	10,802	46,939	57,741	38
Estimadas 2000**	10,673	47,532	58,204	<b>41</b>
<b>Reales 2000***</b>	<b>10,662</b>	<b>45,491</b>	<b>56,154</b>	<b>37</b>

FUENTE: Periódico el Universal 21-Mayo-2001 pág. A-6, con datos del Sector de Energía en México, Análisis y Prospectivas, Luis Tellez Kuenzler.  
 Nota: \* Nueva metodología a partir de 1999;  
 \*\* Datos estimados para sexto informe de Gobierno.  
 \*\*\*Informe estadístico de labores de PEMEX 2000, reservas reales.



**Gráfica No.2.35 Relación de Producción vs. Reservas de Hidrocarburos**



La relación producción vs. reservas ha ido disminuyendo, por lo que es necesario encontrar nuevas fuentes de energía o explorar nuevas zonas donde pueda haber yacimientos de hidrocarburos, lo cual de no actuar pronto, en algunas décadas nos volveremos dependientes de los vecinos del norte.

## 2.6 "IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE LOS ENERGÉTICOS"

### 2.6.1 Emisiones de carbón máximas permiscibles fijadas mediante el Protocolo de Kyoto.

Debido al gran problema en el incremento de contaminantes emitidos a la atmósfera, en enero del 2000 83 países y la comunidad Europea, acordaron mediante el Protocolo Kyoto sobre el Cambio Climático, donde se estableció que: la reducción de las emisiones de carbón entre el 2008 y el 2012, deberá ser de un 4% con respecto a los niveles registrados en 1990, así pues, el consumo de combustibles fósiles tendrá que reducirse entre 30 a 60 trillones de BTU, lo que equivale entre 15 a 30 millones de barriles de petróleo por día cosa que se ve muy difícil.

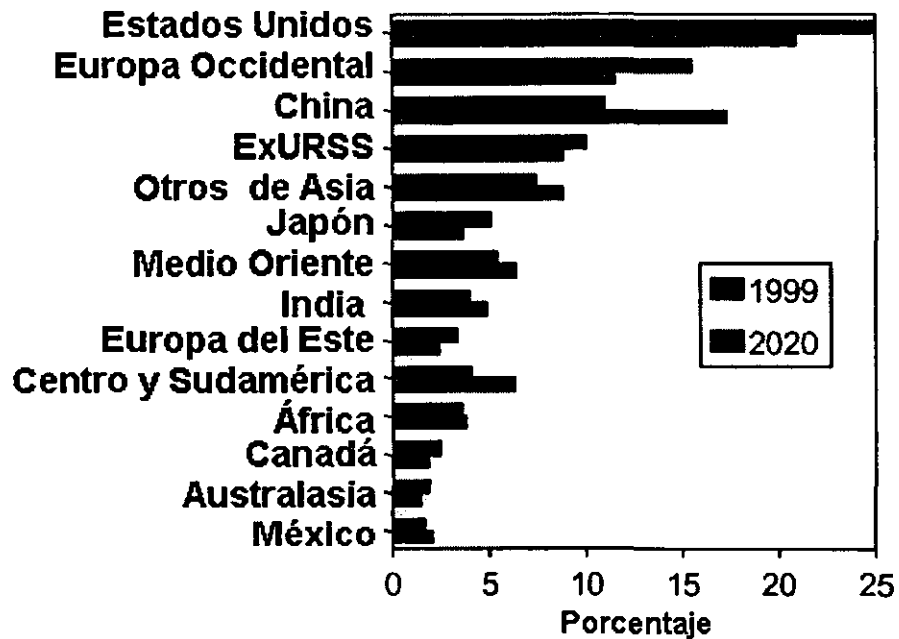
**Tabla 2.18 Emisiones de carbón para el período 1990-2010  
 y límites fijados mediante el Protocolo de Kyoto para el 2010**  
 (Millones de Toneladas Métricas)

Región y País	(1) Emisiones 1990	(2) Estimaciones al 2010	(3) Protocolo Kyoto 2010	Reducción de emisiones = A1-2010	% de Reducción ó Incremento en las emisiones de carbón	
					(1)/(3)*100%	(2)/(3)*100%
Norte América	1,472	1,979	1,370	604	-7	-31
Estados Unidos	1,345	1,809	1,251	558	-7	-31
Canadá	126	165	119	46	-6	-28
Europa Occidental	930	1,040	856	184	-8	-18
Países industrializados de Asia	357	461	347	113	-3	-25
Japón	269	330	253	77	-6	-23
Australasia	88	130	94	36	7	-28
<b>Total Países Industrializados</b>	<b>2,758</b>	<b>3,475</b>	<b>2,573</b>	<b>901</b>	<b>-7</b>	<b>-26</b>
ExURSS	853	593	851	-258	-0	44
Europa del Este	279	209	298	-89	7	43
<b>Total economías de Trans.</b>	<b>1,132</b>	<b>802</b>	<b>1,149</b>	<b>-348</b>	<b>2</b>	<b>43</b>
<b>Total a nivel Mundial</b>	<b>3,890</b>	<b>4,276</b>	<b>3,723</b>	<b>554</b>	<b>-4</b>	<b>-13</b>

Fuentes: 1990: Energy Information Administration (EIA), *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 1998*, DOE/EIA-0573(99) (Washington, DC, October 2000); and EIA, *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001)  
 2010: EIA, World Energy Projection System (2001)

De acuerdo con el protocolo de Kyoto las emisiones de carbón en EUA deberían ser reducidas hasta un 77% para el 2010<sup>13</sup>, pero por desgracia al no haber ratificado EUA el tratado en el presente 2001, tal parece que se

empiezan a desvanecer cierta esperanza para evitar los efectos que producirá el efecto de invernadero, por lo cual, el resto del mundo tendrá que hacer un esfuerzo mayor para tratar de compensar este desequilibrio. Lo irónico es que EUA se dice ser la policía del mundo, quien ostenta hacer alusión de su alta tecnología y quien cotrola la certificación de los países en lo referente al combate a las drogas; y si uno como país no se acata a esas disposiciones, las sanciones impuestas por la potencia más poderosa del mundo suelen ser muy duras, pero es aquí donde uno se pregunta ¿quien les permitió regular en distintos ambitos y porque no se les somete a las mismas exigencias sobre todo en el ámbito ecológico y ambiental?



Gráfica No. 2.36 Porcentaje de emisiones de carbono en el mundo, para el período 1999-2020

Fuente: 1999: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). 2020: EIA, World Energy Projection System (2001).

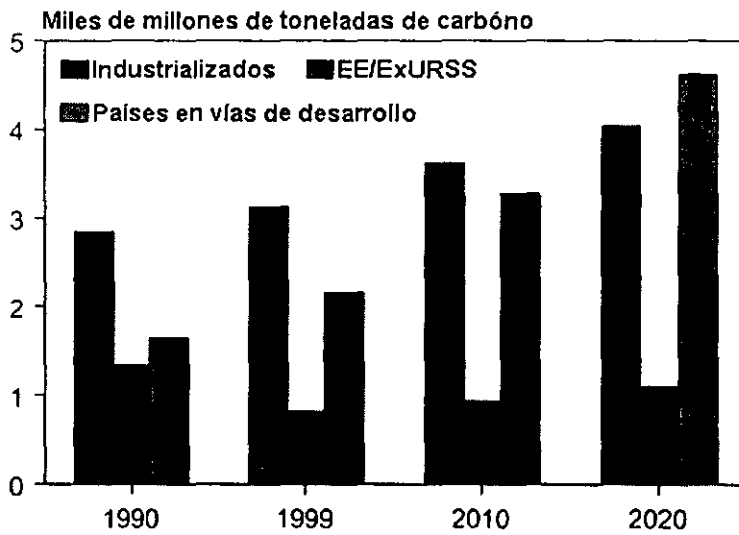
### 2.6.2 Emisiones de carbono a la atmósfera.

Mientras tanto las emisiones de carbono emitidas durante 2000 fueron de aproximadamente 6.2 mil millones de toneladas métricas, las cuales podrían alcanzar los 8.1 mil millones de toneladas métricas para el 2010 y 10.0 mil millones de toneladas métricas para el 2020; excediendo los niveles en un 40% con respecto a 1990 para el 2010 y en un 72% para el 2020.

Las emisiones que se generarán en los países industrializados será de 1.1 mil millones de toneladas métricas entre 1990 y el 2020, siendo la mitad de este atribuido al consumo de gas natural.

En los países en vías de desarrollo, principalmente en China y la India el uso de Carbón se incrementará de una forma dramática ya que la carencia de ricos yacimientos de gas y petróleo que puedan satisfacer la demanda de sus crecientes poblaciones los han orillado a una mayor explotación del carbón.

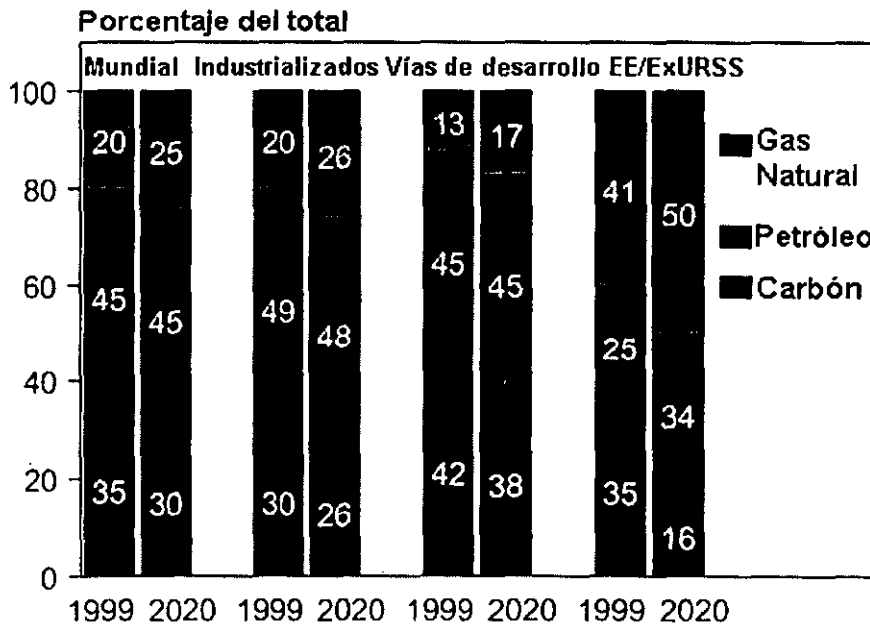
Es en estos países donde el incremento en el uso de energéticos será muy notorio, por lo que para los inversionistas en este sector les puede ser muy atractivo invertir en dichos países.



**Gráfica No. 2.37 Emisión mundial de carbono para el período 1970-2020**

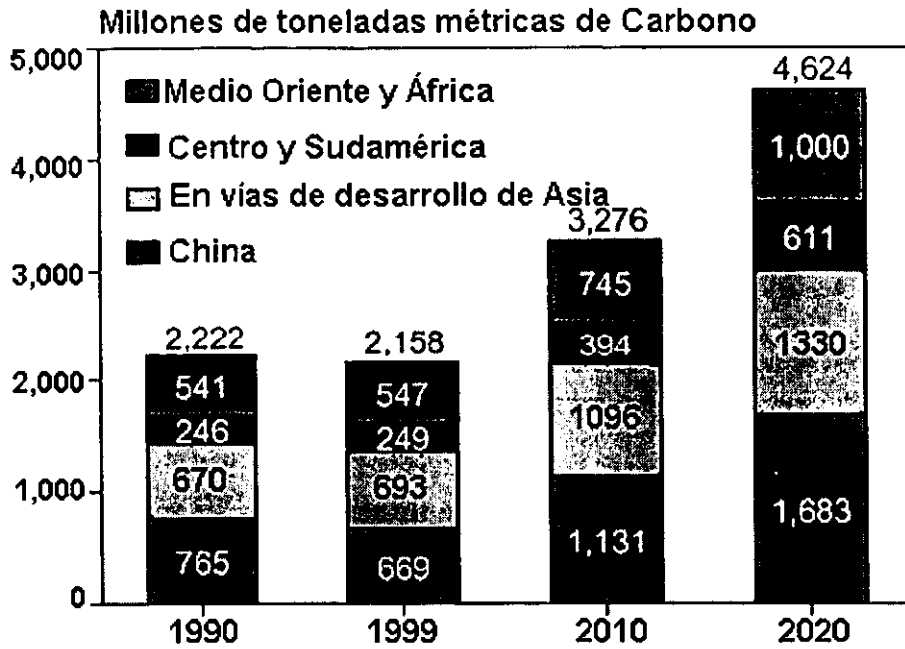
**Fuentes:** Histórica: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

En 1990 el 28% del incremento de emisiones de carbón a la atmósfera se debió principalmente a los países en vía de desarrollo, pero se espera un incremento sumamente notorio del 43% para el 2010 y aproximadamente de un 50% para el 2020.



**Gráfica No. 2.38 Porcentaje de emisión de carbono para el período 1970-2020**

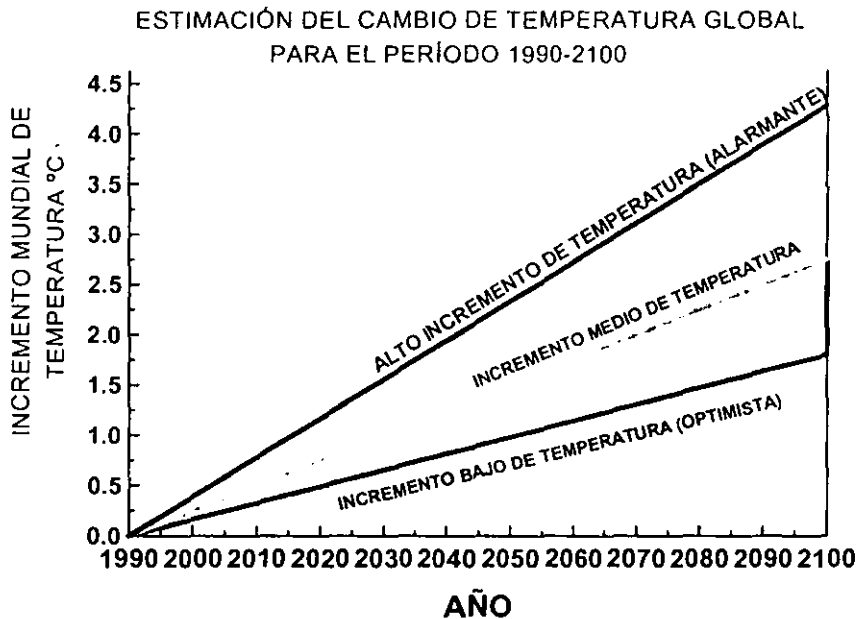
**Fuentes:** Histórica: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).



**Gráfica No 2.39 Emisiones de carbono en países en vías de desarrollo para el período 1999-2020**

Fuentes: Histórica: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

### 2.6.3 Cambio climático.



Gráfica No. 2.40

Fuente: Internet <http://www.iclei.org/efacts/ghouse1.gif>

Nota: Del original en inglés se hizo unas modificaciones en cuanto a los textos.

Es importante mencionar que el aumento de temperatura en 1°C a nivel mundial trae consigo cambios climáticos ya que un grado implica una mayor cantidad de evaporación de agua, si se pone en una olla a hervir este fluido, tal vez la cantidad de agua evaporada pasa casi desapercibida, pero si se considera la superficie de los ríos, manglares, lagos, lagunas, mares y océanos la cantidad de agua evaporada es considerable provocando mayores tormentas que modifican el medio ambiente, mientras que en otros lados el desequilibrio ecológico tiende a producir sequías devastadoras.

De continuar el incremento en el uso de energéticos que favorezcan a la producción de gases de efecto invernadero pronto se dejarán sentir sus consecuencias.

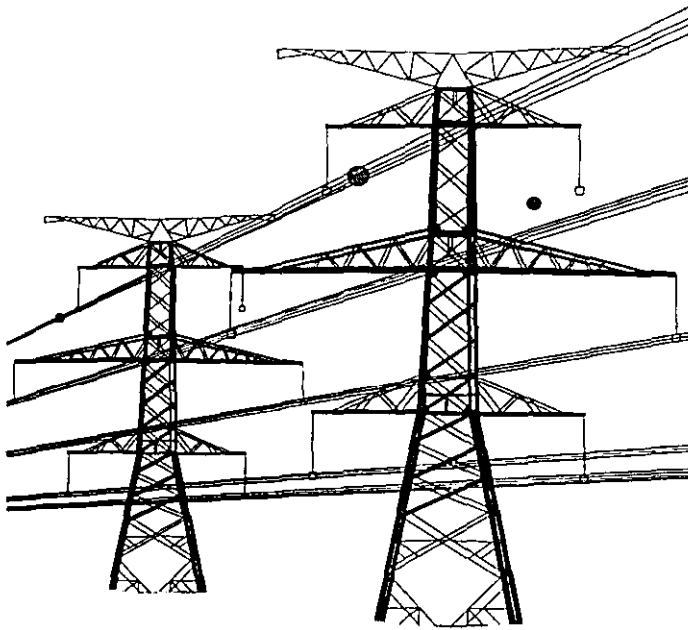
### 2.6.4 Conclusión

Desde hace tiempo el comercio internacional es la parte más dinámica de la economía. Este comercio ya abrió sus propios cauces y finalmente empieza a crear la visión de que nadie es lo suficientemente fuerte monetariamente, para resistir las embestidas de los especuladores. Por esas mismas razones, no es momento de cerrar fronteras sino de cooperar con otros países, los llamados socios comerciales para robustecer la economía misma.

Por otra parte, es importante que el Estado empiece a tomar medidas preventivas sobre la estrategia que tiene que seguir con respecto a la inevitable transición que la industria petrolera internacional iniciará cuando el petróleo ya no tenga la posición clave que hoy tiene como uno de los engranes en el sistema económico mundial.

# Capítulo III

## "Tendencias de la Energía Eléctrica."



### **CAPÍTULO III**

## **"TENDENCIAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA"**

**Energía eléctrica:** Energía asociada con las cargas eléctricas y sus movimientos. Medida en watt-hora o kilowatt-hora. Un watt-hora es igual a 860 calorías. Calor disponible en la electricidad: un kilowatt-hora es igual a 3412.97 BTU (unidad térmica británica).

### **3.1 PERSPECTIVAS MUNDIALES AL 2020**

Como se vió en el capítulo anterior, el principal uso de los energéticos está enfocado principalmente a tres sectores:

- Como combustible para generación de potencia y energía térmica en la industria.
- Autotransporte.
- Generación de energía eléctrica.

Este último se sustenta como la base de la actual economía mundial, ya que impacta directamente en sectores como las telecomunicaciones y alumbrado, para hacer funcionar a un sin fin de electrodomésticos así como muchos equipos de precisión usados en investigación.

Muy amenudo, hacemos y pensamos muchas cosas en nuestra vida cotidiana pero casi nunca pensamos en este vital fluido llamado electricidad, pero ¿qué pasaría si de la noche a la mañana nos quedáramos sin este recurso? la respuesta sería, "CAOS", ya que la dependencia de éste, en particular en el siglo XX, nos ha permitido y nos seguirá permitiendo grandes logros y comodidades en todos los campos.

Actualmente la demanda de este fluido se viene incrementando constantemente, así como el consumo de alimentos y materias primas, provocados por el constante crecimiento de la población.

#### **3.1.1 Consumo mundial de energía eléctrica.**

Durante la última década del siglo XX, el consumo de este recurso aumentó debido a una mayor demanda en los sistemas de automatización (escaleras eléctricas, elevadores, computadoras, hornos de microondas, televisores entre otros) en muchos de los sectores, en el cual los mercados mundiales están compitiendo de una forma cada vez más dinámica.

En la tabla 3.1, se muestra el consumo mundial de energía eléctrica durante la última década del siglo XX así como cuales son los requerimientos esperados para los próximos 20 años pudiendose apreciar que el consumo de energía eléctrica seguirá siendo mayor en los países industrializados teniendo un crecimiento no tan notorio, mientras que en países en vías de desarrollo, se espera que haya un crecimiento muy notorio en el consumo de este vital fluido.



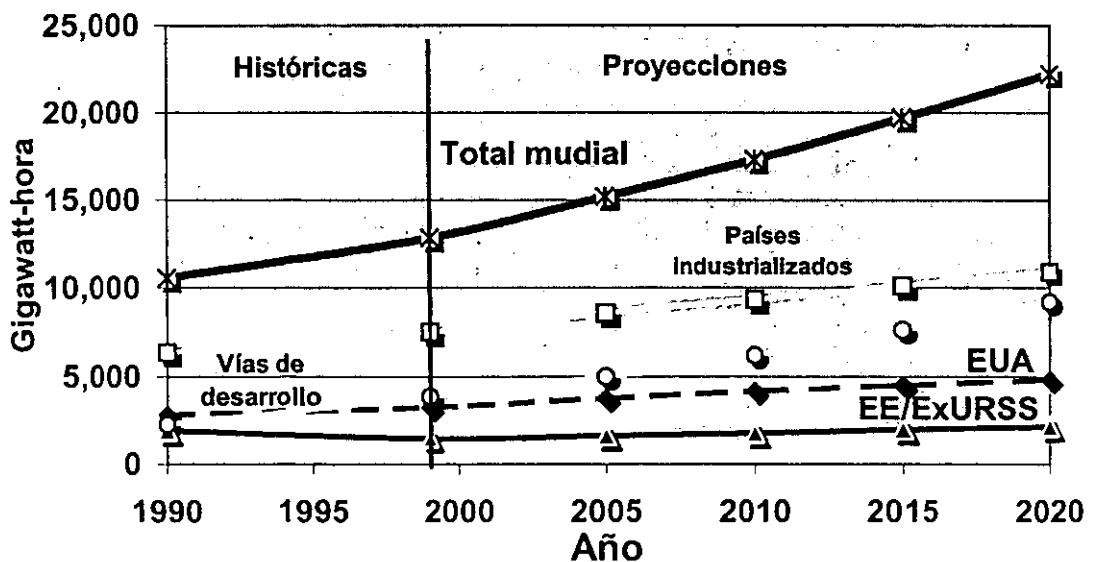
**Tabla No. 3.1 Consumo Mundial de Energía por Región, para el periodo 1990-2020**  
 (Gigawatt-hora)

Región	Historica		Proyecciones				Incremento anual, 1999-2020
	1990	1999	2005	2010	2015	2020	
Estados Unidos	2,817	3,236	3,761	4,147	4,484	4,804	1.9%
<b>*Total Países Industrializados</b>	<b>6,385</b>	<b>7,517</b>	<b>8,580</b>	<b>9,352</b>	<b>10,112</b>	<b>10,888</b>	<b>1.8%</b>
<b>*Total EE/ExURSS</b>	<b>1,906</b>	<b>1,452</b>	<b>1,622</b>	<b>1,760</b>	<b>1,972</b>	<b>2,138</b>	<b>1.9%</b>
China	551	1,084	1,533	2,035	2,635	3,331	5.5%
India	257	424	545	656	798	949	3.9%
Coréa del Sur	93	233	294	333	386	437	3.0%
Otros en vías de desarrollo de Asia	357	578	716	858	996	1,139	3.3%
<b>Total de países en vías de desarrollo de Asia</b>	<b>1,259</b>	<b>2,319</b>	<b>3,088</b>	<b>3,883</b>	<b>4,815</b>	<b>5,856</b>	<b>4.5%</b>
Centro y Sud-América	449	684	844	1,035	1,268	1,552	4.0%
<b>*Total países en vías de desarrollo</b>	<b>2,258</b>	<b>3,863</b>	<b>4,988</b>	<b>6,191</b>	<b>7,615</b>	<b>9,203</b>	<b>4.2%</b>
<b>*Total Balance Mundial</b>	<b>10,549</b>	<b>12,833</b>	<b>15,190</b>	<b>17,303</b>	<b>19,699</b>	<b>22,230</b>	<b>2.7%</b>

Nota 1: EE/FSU = Este de Europa y ExURSS (Former Soviet Union FSU)

Nota 2: El Balance Mundial involucra a los datos reportados por las regiones con \*

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).



**Gráfica No. 3.1 Consumo mundial de energía eléctrica por región para el periodo 1990-2020**

Fuentes: Históricas: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database and *International Energy Annual 1999*, DOE/ EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

*El dilema de la energía*  
 Capítulo III "Tendencias de la Energía Eléctrica"

Tabla No. 3.2 "Consumo mundial de energía para la Generación de Electricidad por región y combustible, para el período 1990-2020" (trillón de Btu)

Pais ó Región	Histórica		Proyecciones		
	1995	1999	2010	2015	2020
<b>Industrializados</b>	<b>77.1</b>	<b>83.8</b>	<b>91.6</b>	<b>97.2</b>	<b>103.5</b>
Petróleo	5.7	6.5	5.4	5.3	5.5
Gas Natural	9.7	11.6	15.6	18.3	23.1
Carbón	27.7	29.5	32.1	33.4	34.0
Nuclear	19.4	20.6	20.9	20.9	20.5
Renovables	14.7	15.6	17.5	19.4	20.4
<b>EE/ExURSS</b>	<b>26.4</b>	<b>23.8</b>	<b>25.9</b>	<b>27.0</b>	<b>28.9</b>
Petróleo	2.8	2.4	3.1	3.5	4.2
Gas Natural	10.6	10.3	11.1	12.3	14.4
Carbón	7.4	5.4	5.4	4.5	3.3
Nuclear	2.5	2.7	3.2	3.1	3.1
Renovables	3.1	3.0	3.2	3.5	4.0
<b>Países en vías de desarrollo</b>	<b>39.1</b>	<b>40.9</b>	<b>52.3</b>	<b>63.1</b>	<b>75.0</b>
Petróleo	5.1	5.7	6.9	8.3	10.0
Gas Natural	4.8	6.0	8.4	11.0	13.6
Carbón	16.8	15.8	20.4	24.7	29.2
Nuclear	1.4	1.9	2.6	3.4	4.1
Renovables	10.1	11.5	14.1	15.8	18.2
<b>Total Balance Mundial</b>	<b>141.7</b>	<b>148.4</b>	<b>169.8</b>	<b>187.3</b>	<b>207.4</b>
Petróleo	13.6	14.6	15.4	17.0	19.7
Gas Natural	25.1	27.9	35.2	41.7	51.0
Carbón	51.9	50.7	57.8	62.5	66.5
Nuclear	23.3	25.3	26.7	27.4	27.7
Renovables	27.9	30.0	34.8	38.7	42.5

Fuentes: Históricas: Derived from Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

**Tabla No. 3.3 "Porcentaje de consumo mundial de energía para la Generación de Electricidad por región y combustible, para el período 1990-2020"**

País ó Región	Histórica		Proyecciones		
	1995	1999	2010	2015	2020
<b>Industrializados</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Petróleo	7.4	7.8	5.9	5.5	5.3
Gas Natural	12.6	13.9	17.0	18.8	22.3
Carbón	35.9	35.3	35.0	34.4	32.9
Nuclear	25.2	24.7	22.8	21.5	19.8
Renovables	19.1	18.7	19.1	20.0	19.7
<b>EE/ExURSS</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Petróleo	10.6	10.1	12.0	13.0	14.5
Gas Natural	40.2	43.3	42.9	45.6	49.8
Carbón	28.0	22.7	20.8	16.7	11.4
Nuclear	9.5	11.3	12.4	11.5	10.7
Renovables	11.7	12.6	12.4	13.0	13.8
<b>Países en vías de desarrollo</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Petróleo	13.4	13.9	13.2	13.2	13.3
Gas Natural	12.6	14.7	16.1	17.4	18.1
Carbón	44.1	38.6	39.0	39.1	38.9
Nuclear	3.7	4.6	5.0	5.4	5.5
Renovables	26.5	28.1	27.0	25.0	24.3
<b>Total Balance Mundial</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Petróleo	9.6	9.8	9.1	9.1	9.5
Gas Natural	17.7	18.8	20.7	22.3	24.6
Carbón	36.6	34.2	34.0	33.4	32.0
Nuclear	16.4	17.0	15.7	14.6	13.3
Renovables	19.7	20.2	20.5	20.7	20.5

Fuentes: **Historicas:** Derived from Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones:** EIA, World Energy Projection System (2001).

**Tabla No. 3.4 Consumo mundial de energía para la Generación de Electricidad, para el período 1990-2020 (equivalente a millones de barriles de Petróleo anual por región y combustible)**

Pais ó Región	Histórica		Proyecciones		
	1995	1999	2010	2015	2020
<b>TOTAL BALANCE MUNDIAL</b>	24,089	25,228	28,866	31,841	35,258
Petróleo	2,312	2,482	2,618	2,890	3,349
Gas Natural	4,267	4,743	5,984	7,089	8,670
<b>Carbón</b>	8,823	<b>8,619</b>	9,826	10,625	<b>11,305</b>
<b>TOTAL DE HIDROCARBUROS Y CARBÓN</b>	<b>15,402</b>	<b>15,844</b>	<b>18,428</b>	<b>20,604</b>	<b>23,324</b>
<b>PORCENTAJE DE FUENTES DE ENERGÍA PROVENIENTES DE HIDROCARBUROS Y CARBÓN</b>	<b>63.9%</b>	<b>62.8%</b>	<b>63.9%</b>	<b>64.7%</b>	<b>66.2%</b>
Nuclear	3,961	4,301	4,539	4,658	4,709
Renovables	4,743	5,100	5,916	6,579	7,225
<b>TOTAL DE FUENTES DE ENERGÍA INDEPENDIENTES DEL CARBÓN E HIDROCARBUROS</b>	<b>8,704</b>	<b>9,401</b>	<b>10,455</b>	<b>11,237</b>	<b>11,934</b>
<b>PORCENTAJE DE FUENTES DE ENERGÍA INDEPENDIENTES DEL CARBÓN E HIDROCARBUROS</b>	<b>36.1%</b>	<b>37.2%</b>	<b>36.1%</b>	<b>35.3%</b>	<b>33.8%</b>

Fuentes: Históricas: Derived from Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001).

En la tabla 3.2 destaca un aumento considerable en el uso del gas natural en todo el mundo, por lo que, así como se vió en el capítulo anterior, el consumo de gas natural para el autotransporte y el uso casero irá en aumento, también lo será en el sector de generación de energía eléctrica por lo que se debe invertir en este sector.

La energía nuclear disminuirá a partir del 2020 mientras que las fuentes de energía renovables, aumentarán en un 41.6% su capacidad manteniéndose en un porcentaje mundial del 20.5% (ver tabla 3.3) con respecto a las demás fuentes de energía para el 2020.

Es importante observar, que durante los próximos años habrá un incremento de combustibles que emanan carbono a la atmósfera, por lo que hay que tratar de encontrar nuevas alternativas.

Tan sólo en 1999 el uso de fuentes independientes del carbón e hidrocarburos, ahorró el equivalente de 9,401 millones de barriles equivalentes de petróleo en comparación con los 15,844 millones de barriles usados en plantas de termoeléctricas, carboeléctricas y ciclo combinado, siendo en la primera y la última donde a partir del incremento del precio del petróleo, se ha visto que es más económico el uso de gas natural, por lo que la tendencia en estas empresas se irá inclinando más hacia el uso de este energético.

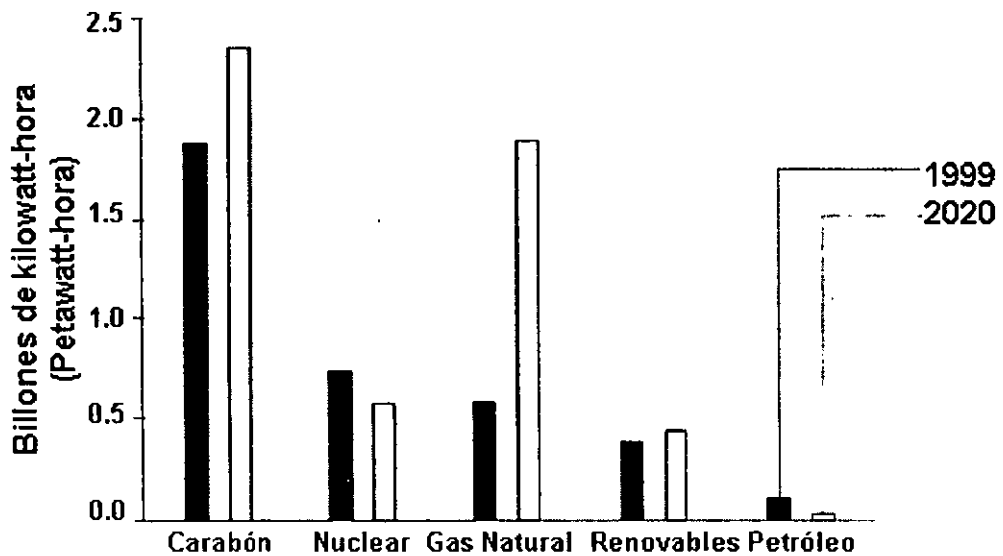
Para el 2020 se espera que la producción energía eléctrica a partir de fuentes renovables y nuclear, ahorre un total de 11,934 millones de barriles de petróleo, en comparación con los 23,324 millones de barriles equivalentes de petróleo usados por las otras fuentes.

De acuerdo a las proyecciones, la demanda para los diferentes combustibles habrá aumentado de la siguiente manera:

<b>Tabla No 3.5</b>	
<b>Combustible</b>	<b>Incremento para el período 1999-2020</b>
Petróleo	34.9%
Gas Natural	82.79%
Carbón	31.16%
Nuclear	9.48%
Renovables	41.66%
Total del Balance Mundial	39.75%

### 3.1.2 Generación de electricidad por combustible.

De acuerdo al tipo de combustible, la generación de energía eléctrica por combustible esperado para los siguientes 20 años será de:



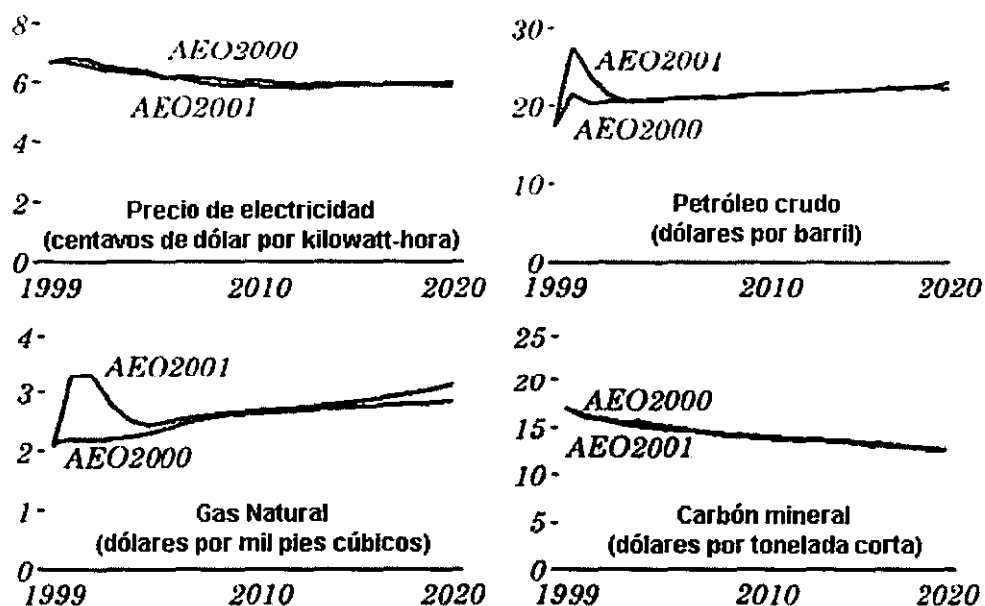
**Gráfica No. 3.2 Generación de electricidad por combustible para el período 1999-2020**

Fuente: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, (Washington, DC, January 2001).  
 Proyecciones: EIA, World Energy Projection System (2001)

**Recomendación:** el consumo de gas natural tiende a incrementarse drásticamente, por lo que se recomienda invertir en este sector ya que resultará ser muy atractivo.

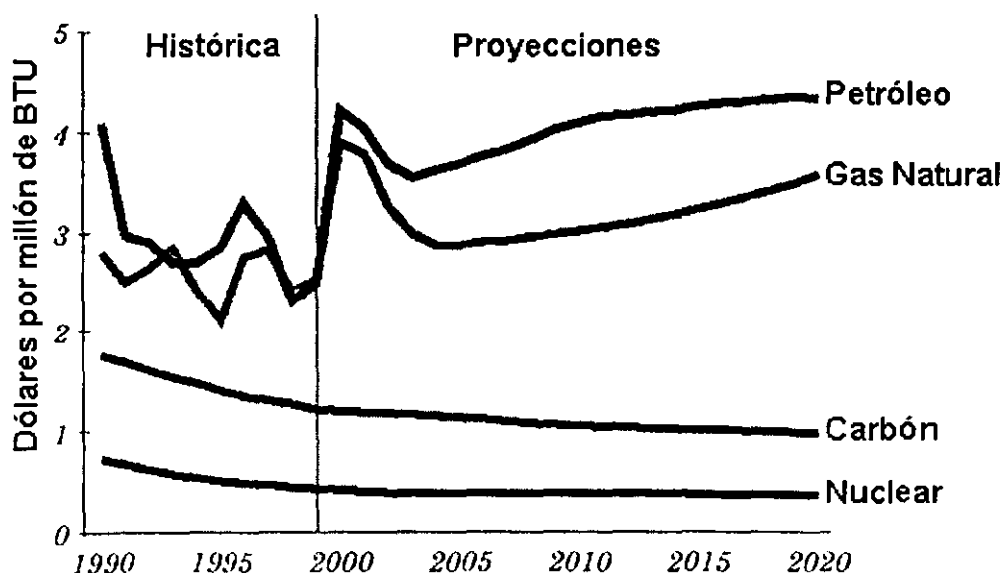
Mientras que en el ámbito nuclear, disminuirá su comercialización, como se verá en la unidad correspondiente.

3.1.3 Aspecto económico.



Gráfica No. 3.3 Precios de combustible y electricidad para el período 1999-2000  
 Comparando las proyecciones hechas por la AEO 2000 y la AEO 2001

Fuentes: Energy Information Administration (EIA), *Annual Energy Outlook 2000*, DOE/ EIA-0383(2000) (Washington, DC, December 1999), AEO 2001 projections table A1.



Gráfica No. 3.4 Precios de combustibles para la generación de electricidad  
 para el período 1990-2020

Fuentes: Energy Information Administration (EIA), *Annual Energy Review 1999*, DOE/ EIA-0383(2000) (Washington, DC, July 2000)

### **3.2 DEMANDA BRUTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.**

El 14 de agosto del 2000 durante el LXIII aniversario de la Comisión Nacional de Electricidad, el ex-presidente de la República Ernesto Zedillo Ponce de León afirmó que para modernizar y ampliar al sector eléctrico, se requerirá una inversión cercana a los 500 mil millones de pesos a precio de entonces, hasta el 2010. Esa cantidad es muy grande y equivaldría a invertir tan sólo en esa área, cerca del 40% de todo el presupuesto federal asignado en el año 2000.

En este sector ha habido un gran avance si consideramos que en la década de los cuarenta, sólo el 50% de los mexicanos contaba con este servicio y que para finales del 2000 esta cifra aumentará a un 95%, siendo en 1940 la capacidad instalada de 479 megawatts (1.32% de la actual), vs 36,268 megawatts producidos en 2000;<sup>1</sup> tomando en cuenta que la población era de aproximadamente 20 millones vs más de 98 millones a finales del año 2000.

Los recursos hacia la electricidad han crecido más de 20% real en promedio desde 1996, lo que ha permitido iniciar proyectos para generar casi 12 mil megawatts, cantidad equivalente a un tercio de la capacidad total que ahora se tiene.

Sumando recursos privados a los del Gobierno se ha conseguido, por ejemplo, dotar al sector energético con tecnologías que no riñen con el medio ambiente y que aprovechen mejor los recursos que abundan en el país. Además, se comentó que con la participación de inversiones privadas se han podido construir plantas eléctricas que funcionan con gas natural, como la termoeléctrica Mérida III, además del gasoducto que provee de combustible esa planta. Con estas dos obras se garantiza para los próximos años el aumento en un tercio de la capacidad de generación de energía eléctrica en la Península de Yucatán.<sup>2</sup>

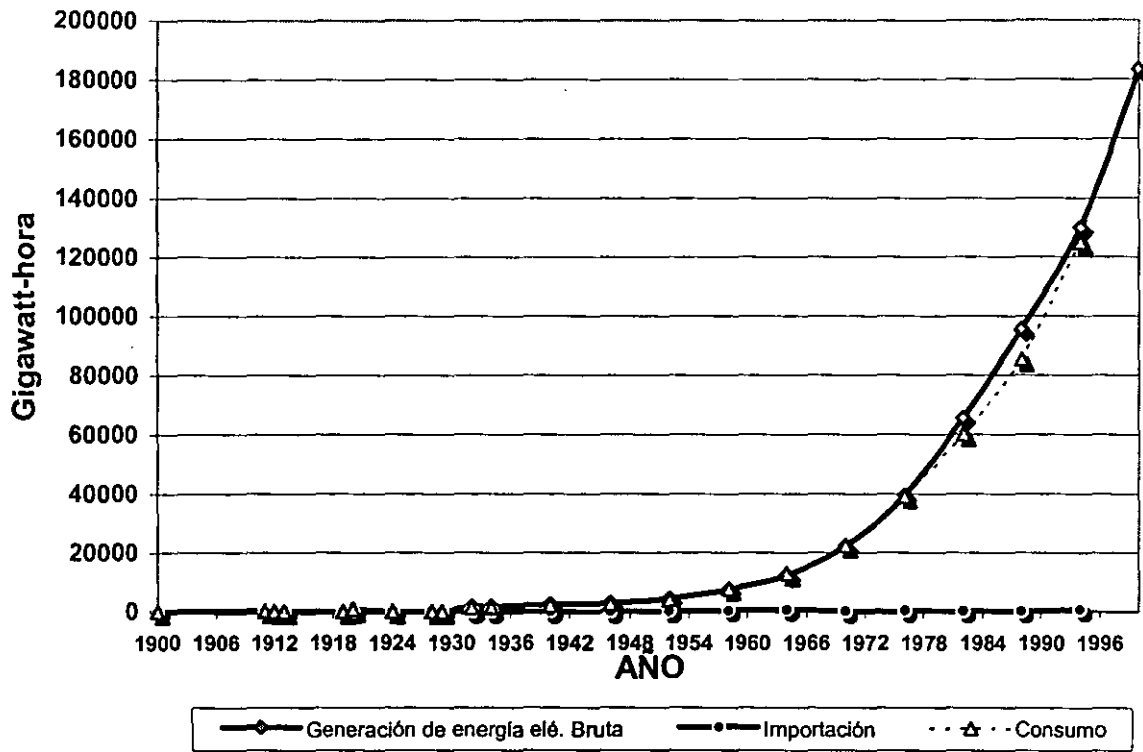
Dentro de los hechos más contrastantes se comentó que el estado de Chiapas produce más energía eléctrica y paradójica e injustamente era el que menos cobertura tenía de este servicio ya que a finales de 1994, 77 de cada 100 chapaneos recibían electricidad y al terminar el sexenio, 90 de cada 100 contarían con este servicio. De acuerdo a el último Censo de Población y Vivienda, se precisó que se ha alcanzado una cobertura rural de 83%, cuando en 1990 era de apenas 62%.

Entre 1995 y fines del año 2000 las ventas totales de electricidad se incrementaron más de 35%, pasando de 112 mil a 152 mil megawatts hora. Esto ha permitido atender un crecimiento de la demanda del 6% en promedio cada año.<sup>3</sup>

#### **3.2.1 Generación Importación y Consumo.**

En 1900 , en México se generaron 56 GWh de electricidad, para el 2000 216,165 GWh; durante la mayor parte del siglo, la electricidad que consumimos fue equivalente a la que generamos (en realidad se genera poco más de lo que se consume), con excepción del periodo comprendido entre 1953 y 1973. Durante estas décadas, el consumo no rebasó la generación de electricidad en más de 5.3%, cifra alcanzada durante el periodo de Ruiz Cortines. El consumo de electricidad no mostró una desaceleración después del establecimiento de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía en 1989.<sup>4</sup>

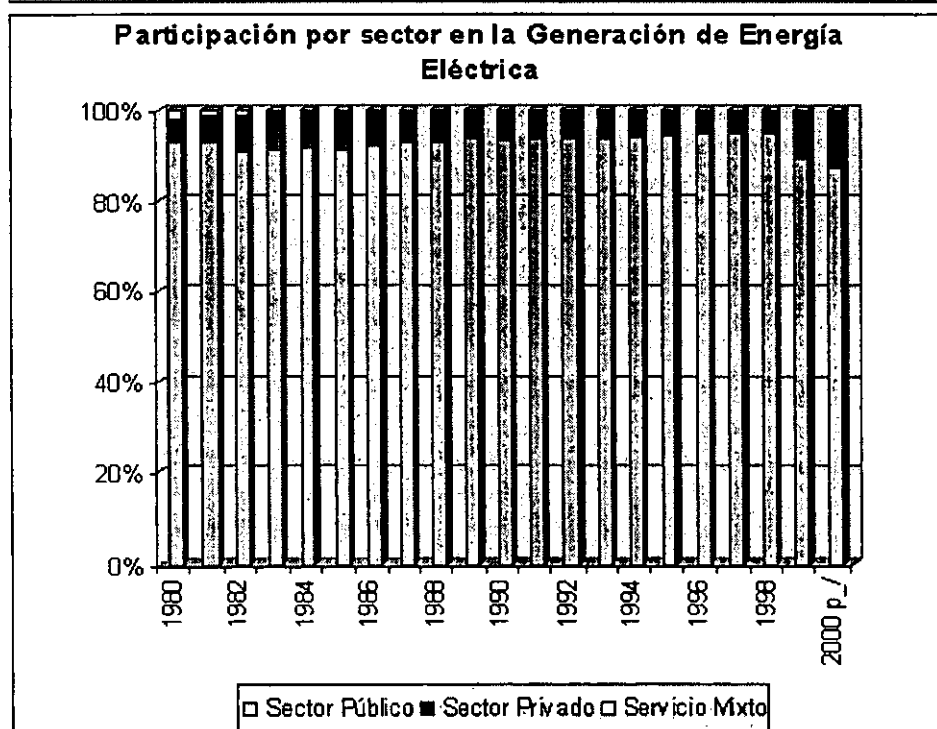
Gráfica No. 3.5 GENERACIÓN, IMPORTACIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO PARA EL PERÍODO 1999-2000





<b>Tabla No. 3.6 Generación Bruta de Energía Eléctrica (Gigawatts/Hora)</b>				
<b>Año</b>	<b>Generación Nacional</b>	<b>Sector Público</b>	<b>Sector Privado</b>	<b>Servicio Mixto 1_/</b>
<b>1980</b>	66,956.0	61,868.0	3,858.0	1,230.0
<b>1985</b>	93,404.0	85,352.0	7,637.0	415.0
<b>1990</b>	122,757.0	114,325.0	8,432.0	0.0
<b>1995</b>	150,638.2	142,344.2	8,294.0	0.0
<b>1996</b>	160,493.7	151,888.7	8,605.0	0.0
<b>1997</b>	170,519.1	161,385.1	9,134.0	0.0
<b>1998</b>	180,490.1	170,982.1	9,508.0	0.0
<b>1999</b>	202,693.8	180,916.8	21,777.0	0.0
<b>2000 p_/</b>	<b>216,165.5</b>	<b>188,165.5</b>	<b>28,000.0</b>	<b>0.0</b>

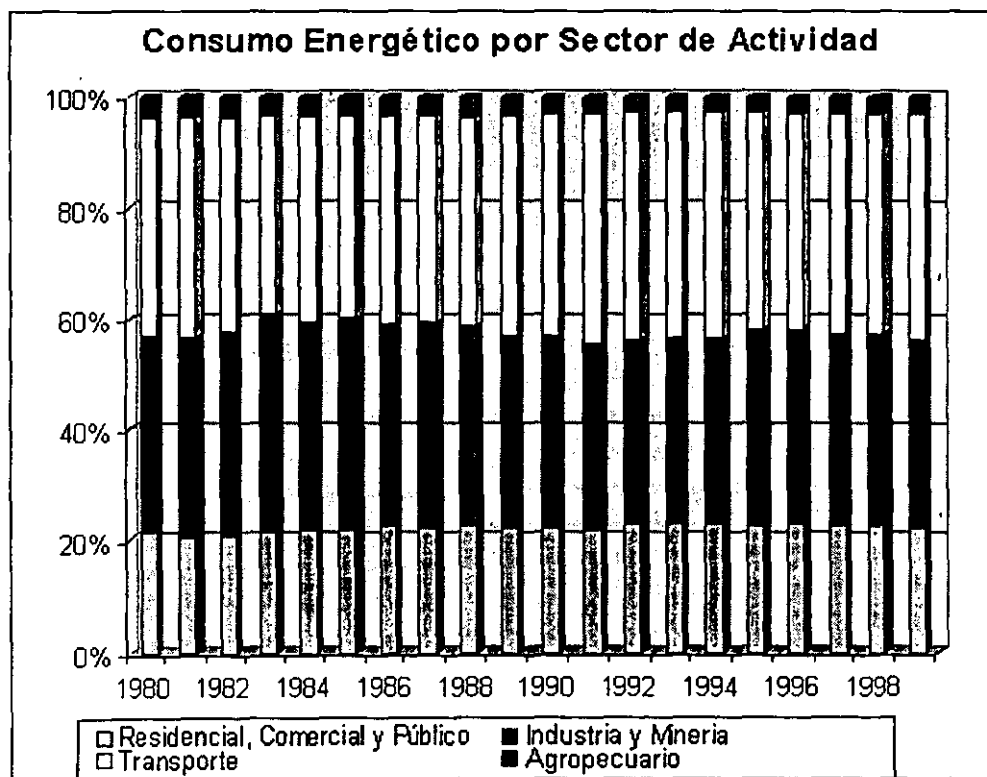
FUENTE: Secretaría de Energía, con información proporcionada por CFE y LFC para Informe de Gobierno.  
 1\_/ A partir de 1987 dejó de generarse Servicio Mixto. p\_/ Cifras preliminares.-



**Gráfica No. 3.6**

Tabla No. 3.7 Consumo Energético por Sector de Actividad (Petajoules)						
Año	Consumo Energético Total	Agropecuario	Residencial Comercial y Público	Industria y Minería	Transporte	Consumo Per cápita (Mill. KJ / hab)
1980	2,510.0	95.8	542.7	890.0	981.5	62.4
1985	2,845.0	92.4	622.3	1,089.8	1,040.4	64.2
1990	3,169.5	92.6	701.2	1,100.5	1,275.3	63.5
1995	3,564.2	93.5	816.1	1,255.4	1,399.1	60.2
1996	3,640.7	101.4	837.9	1,282.5	1,418.8	62.4
1997	3,714.3	106.9	840.8	1,288.5	1,478.1	63.5
1998	3,823.3	106.6	868.9	1,320.6	1,527.3	64.0
1999	3,799.9	109.6	853.3	1,279.5	1,557.5	64.6

Fuente: Secretaría de Energía y Balance Nacional de Energía. datos 2000

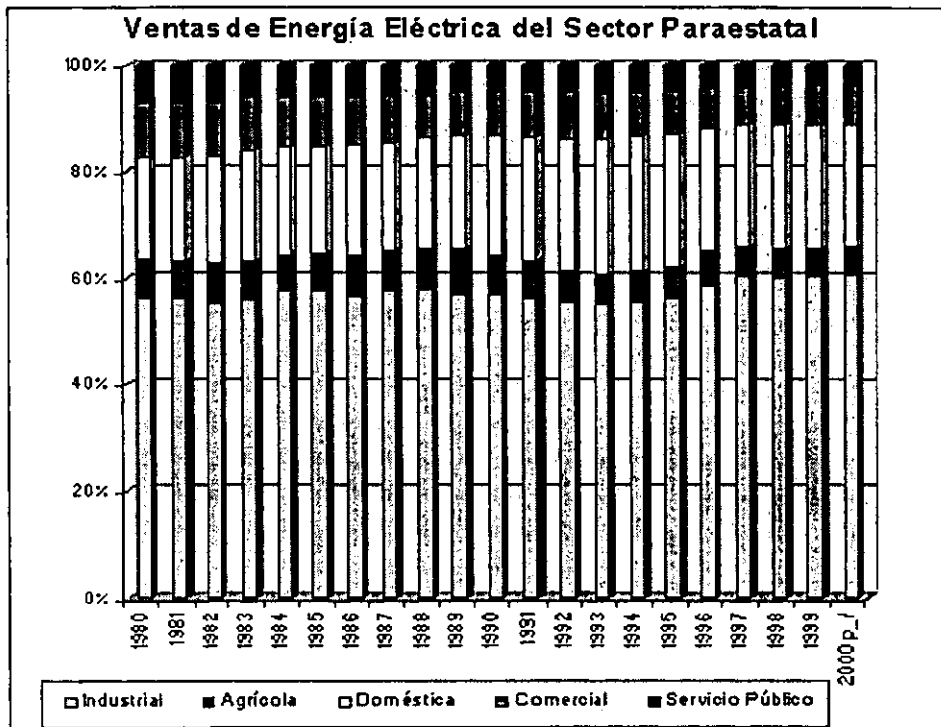


Gráfica No. 3.7

Tabla No. 3.8 Ventas Nacionales de Energía Eléctrica  
 (Gigawatts/Hora)

Año	Total	Industrial	Agrícola	Doméstica	Comercial	Servicio Público
1980	52,369.6	29,599.5	3,748.8	9,994.7	5,431.8	3,594.8
1985	70,614.6	40,713.9	4,962.0	14,285.3	6,537.9	4,115.5
1990	92,123.3	52,745.5	6,707.4	20,389.5	7,751.7	4,529.2
1995	113,365.4	63,883.8	6,690.1	28,461.8	9,044.0	5,285.7
1996	121,573.1	71,570.5	7,543.2	28,482.5	8,930.6	5,046.3
1997	130,254.7	78,379.5	7,651.5	29,642.3	9,486.1	5,095.3
1998	137,209.0	82,440.20	7,744.0	31,689.20	10,159.1	5,176.0
1999	144,994.0	87,233.0	7,996.00	33,370.0	10,962.0	5,433.0
2000p_/	154,988.0	94,088.0	8,071.0	35,714.0	11,553.0	5,562.0

Fuente: Secretaría de Energía y Balance Nacional de Energía. p\_/Cifra preliminares

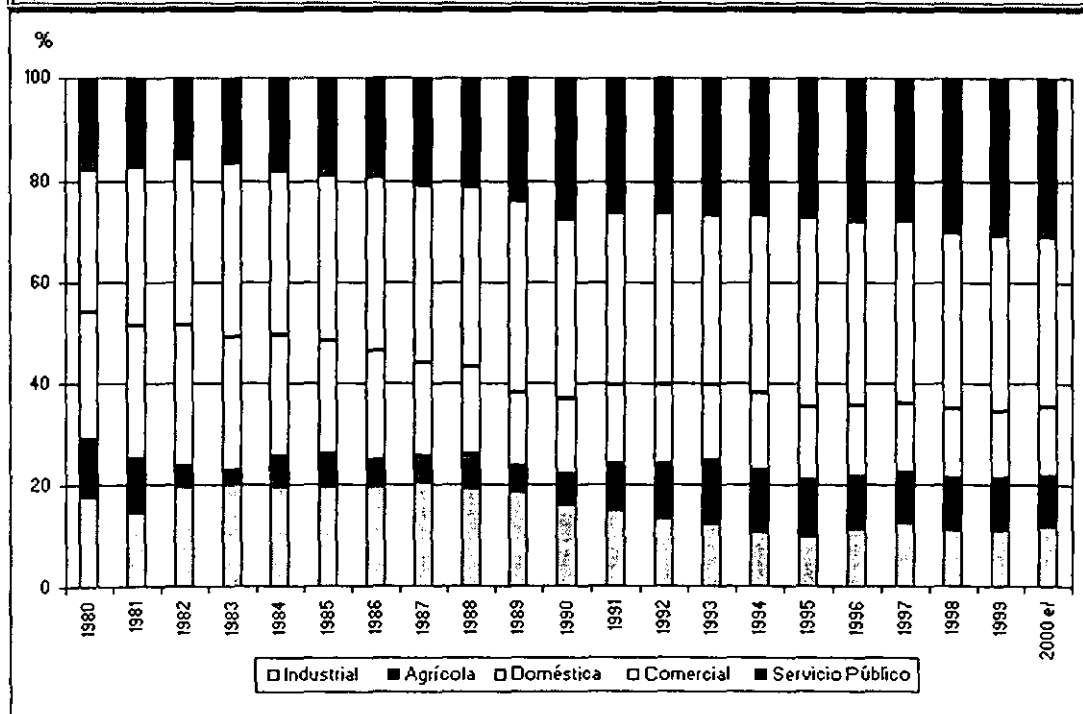


Gráfica No. 3.8

3.2.2 Aspecto económico.

<b>Tabla No. 3.9 Precios Medios de la Energía Eléctrica (Pesos/Kilowatt-Hora)</b>					
<b>Año</b>	<b>Industrial</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Doméstica</b>	<b>Comercial</b>	<b>Servicio Público</b>
1980	0.0008	0.0004	0.0011	0.0013	0.0008
1985	0.0076	0.0019	0.0087	0.0128	0.0073
1990	0.1239	0.0316	0.1166	0.2629	0.1884
1995	0.1993	0.1346	0.2527	0.6159	0.4155
1996	0.2779	0.1677	0.3189	0.7775	0.5503
1997	0.3578	0.1963	0.3747	0.9243	0.6550
1998	0.3859	0.2260	0.4374	1.0507	0.8243
1999	0.4397	0.2574	0.4924	1.2014	0.9469
2000p_/	0.5022	0.2859	0.5556	1.2960	1.0539

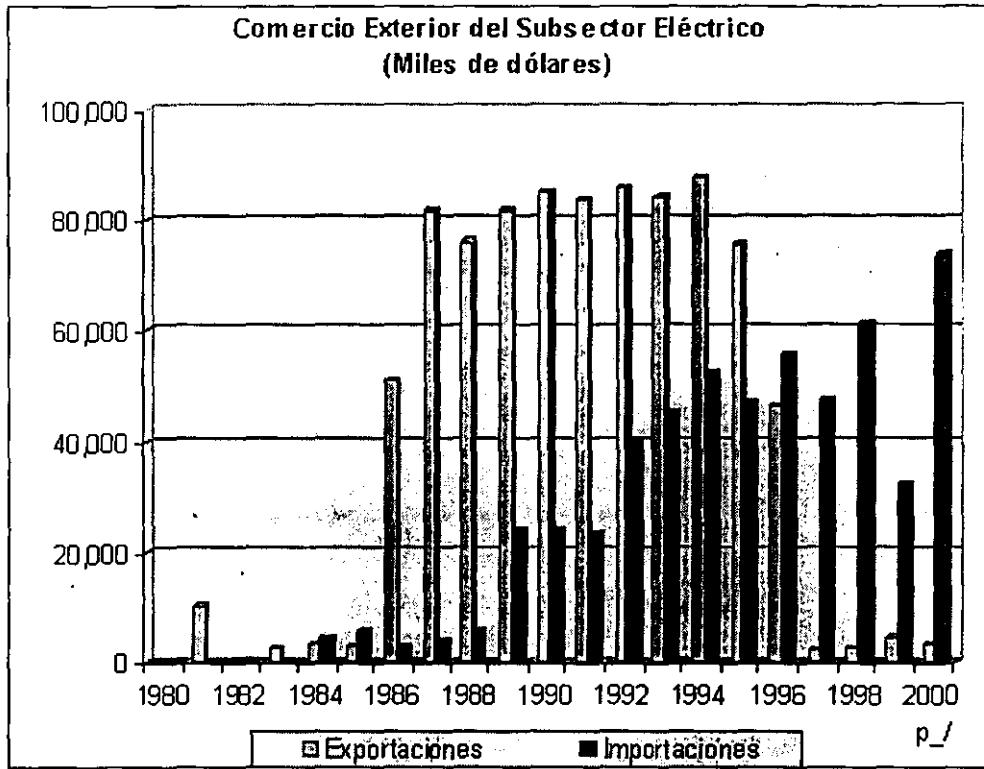
**FUENTE :** Secretaría de Energía, con información proporcionada por CFE para Informe de Gobierno.  
 e / Cifras estimadas.



**Gráfica No. 3.9 Energía Eléctrica Precios Medios por Sector (Precios corrientes / KWh)**

<b>Tabla No. 3.10 Balanza Comercial del Subsector Eléctrico (Miles de dólares)</b>			
<b>AÑO</b>	<b>Exportaciones</b>	<b>Importaciones</b>	<b>Saldo Comercial</b>
1980	n.d	n.d	n.d
1981	10,199.9	n.d	n.d
1982	244.9	524.8	-279.9
1983	2,441.9	266.2	2,175.8
1984	3,245.5	4,266.1	-1,020.6
1985	2,897.5	5,921.3	-3,023.8
1986	51,086.4	2,716.5	48,369.9
<b>1987</b>	<b>81,863.1</b>	<b>3,471.3</b>	<b>78,391.8</b>
1988	76,191.3	5,567.8	70,623.4
1989	81,650.0	23,891.6	57,758.4
1990	85,057.8	24,052.3	61,005.5
1991	83,974.9	23,066.1	60,908.8
1992	85,750.0	40,271.2	45,478.8
1993	84,271.5	45,068.4	29,203.1
1994	87,449.2	52,126.6	35,322.6
1995	75,695.3	46,757.0	28,938.3
1996	46,346.3	55,760.3	-9,396.0
1997	2,115.0	47,170.0	-45,054.9
1998	2,629.0	61,361.7	-58,732.4
1999	4,313.3	32,317.4	-28,004.1
<b>2000p /</b>	<b>3,251.6</b>	<b>73,707.9</b>	<b>-70,456.3</b>

FUENTE: Secretaría de Energía. con información proporcionada por CFE para Informe de Gobierno.  
 p / Cifras preliminares.



**Gráfica No. 3.10**

A partir de 1996 se empezó a tener un déficit en este subsector, ya que las importaciones superaron las exportaciones, cosa que se ha incrementado muy notoriamente desde 1997 hasta el 2000 lo cual indica que se tendrá que invertirse en este sector para construcción de nuevas plantas y renovación de algunas de las plantas ya existentes.

Es necesario hacerlo, ya que de lo contrario, se corre el riesgo de que la demanda exceda la capacidad instalada, pudiéndose producir apagones que tendría consecuencias serias, sobre todo en muchas empresas. Se puede recurrir a fuentes como la energía eólica que en México tiene un potencial de al menos 30,000 Megawatts como se verá en el capítulo referente a las fuentes de energía renovables ya que una de las alternativas en este sector es que nos empecemos a decantar por la vía de producción de energía eléctrica aprovechando recursos tan comunes y sencillos como el agua y el aire, en vez de seguir quemando un recurso tan rico en productos como es el petróleo; el cual se puede aprovechar de una mejor manera en el área petroquímica, creando nuevos productos con mayor valor agregado para poder satisfacer necesidades locales.

**3.2.3 Capacidad instalada y localización por tipo de planta.**

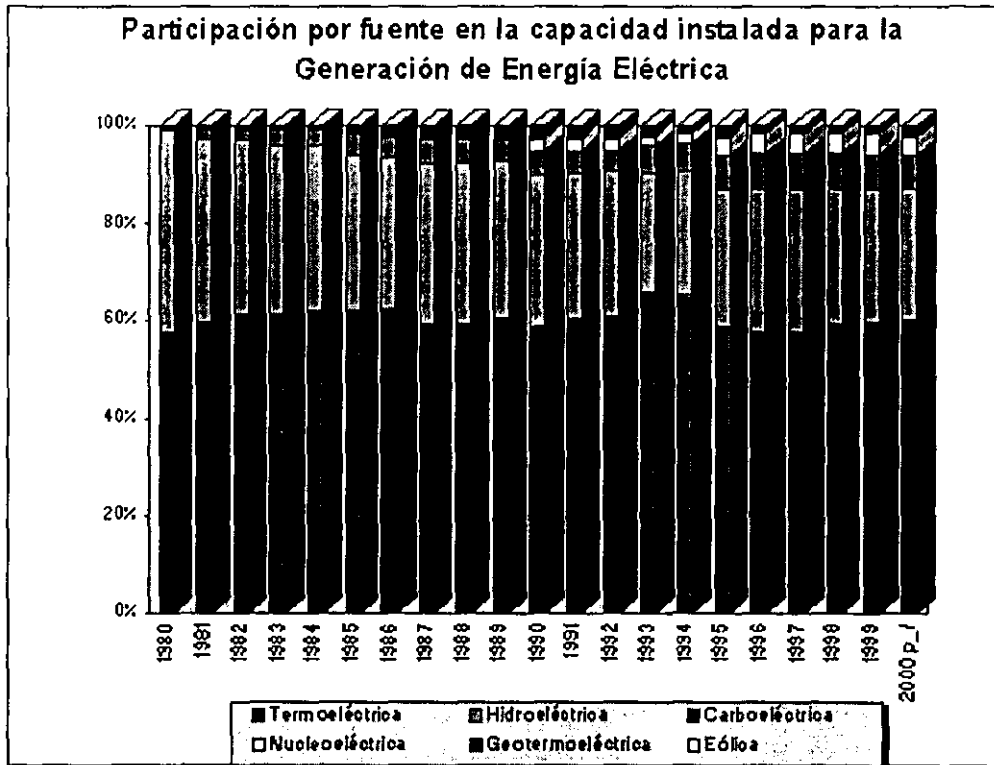
<b>Tabla No. 3.11 Capacidad y porcentaje instalada de energía eléctrica del Sector Paraestatal 1 / (Megawatts)</b>							
<b>AÑOS</b>	<b>Total Sector Paraestatal</b>	<b>Termoeléctrica</b>	<b>Hidroeléctrica</b>	<b>Carboeléctrica</b>	<b>Nucleoeléctrica</b>	<b>Geotermoeléctrica</b>	<b>Eólica</b>
1980	14,625.0	8,483.0	5,992.0	---	---	150.0	-
1980	14,625.0	58.00%	0.28%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
1985	20,807.0	12,950.0	6,532.0	900.0	---	425.0	-
1985	20,807.0	62.24%	31.39%	4.33%	0.00%	2.04%	0.00%
1990	25,293.0	14,914.0	7,804.0	1,200.0	675.0	700.0	-
1990	25,293.0	58.96%	30.85%	4.74%	2.67%	2.77%	0.00%
1995	33,037.3	19,394.8	9,329.0	2,250.0	1,309.1	752.9	1.6
1995	33,037.3	58.71%	28.24%	6.81%	3.96%	2.28%	0.0048%
1996	34,791.0	20,102.1	10,034.4	2,600.0	1,309.1	743.9	1.6
1996	34,791.0	57.78%	28.84%	7.47%	3.76%	2.14%	0.0046%
1997	34,814.8	20,120.1	10,034.1	2,600.0	1,309.1	749.9	1.6
1997	34,814.8	57.79%	28.82%	7.47%	3.76%	2.15%	0.0046%
1998	35,255.2	20,894.6	9,700.1	2,600.0	1,309.1	749.9	1.6
1998	35,255.2	59.27%	27.51%	7.37%	3.71%	2.13%	0.0045%
1999	36,666.3	21,327.4	9,618.8	2,600.0	1,368.0	749.9	2.2
1999	36,666.3	58.17%	26.23%	7.09%	3.73%	2.05%	0.0060%
2000p_/	36,268.5	21,825.4	9,618.80	2,600.0	1,364.9	857.2	2.2
2000p_/	36,268.5	60.18%	26.52%	7.17%	3.76%	2.36%	0.0061%

Datos históricos: Primera carboeléctrica (1981), primer reactor nuclear (1990), primer sistema eólico (1994)

Fuente: Secretaría de Energía

l\_/ Se refiere a potencia real. p\_/ Cifras preliminares, sexto informe de gobierno 2000.

La capacidad instalada desde 1980 aumentó un 248%, del cual, el 67.3% depende de las plantas Termoeléctricas y Carboeléctricas en comparación con el 0.0061% de las plantas eólicas siendo que estas últimas en México tiene un gran potencial como se ve en el capítulo IV.



Gráfica No. 3.11

A continuación se muestran los lugares donde se produce la energía eléctrica mediante distintos procesos en el país.



Mapa No.3.1 Localización de las plantas productoras de energía eléctrica en la República Mexicana

Fuente: Secretaría de Energía.<sup>48</sup> <http://energia.gob.mx/>



*El dilema de la energía*  
 Capítulo III "Tendencias de la Energía Eléctrica"

No	Tabla No. 3.12 Centrales Instaladas	Tipo	Capacidad (MW)	Área a la que Pertenece	Combustible ó Energético Primario
1	Belisario Dominguez (Angostura)	Hidroeléctrica	900	Oriental	Energía Hidráulica
2	M. Moreno Torres (Chiciasén)	Hidroeléctrica	1,500	Oriental	Energía Hidráulica
3	Malpaso	Hidroeléctrica	1,080	Oriental	Energía Hidráulica
4	A. Albino Corzo (Peñitas)	Hidroeléctrica	420	Oriental	Energía Hidráulica
5	Tamascal	Hidroeléctrica	354	Oriental	Energía Hidráulica
6	C. Ramirez Ulloa (Caracol)	Hidroeléctrica	600	Oriental	Energía Hidráulica
7	Infiernillo	Hidroeléctrica	1,000	Central	Energía Hidráulica
8	J. Ma. Morelos (Villita)	Hidroeléctrica	295	Central	Energía Hidráulica
9	Necaxa	Hidroeléctrica	109	Central	Energía Hidráulica
10	P. Elías Calles (El Novillo)	Hidroeléctrica	135	Noroeste	Energía Hidráulica
11	Raúl J. Marsal (Comedero)	Hidroeléctrica	100	Noroeste	Energía Hidráulica
12	Bacurato	Hidroeléctrica	92	Noroeste	Energía Hidráulica
13	Aguamilpa Solidaridad	Hidroeléctrica	960	Occidental	Energía Hidráulica
14	L. Donald Colosio (Huites)	Hidroeléctrica	422	Noroeste	Energía Hidráulica
15	V. Gómez Farias (Agua Prieta)	Hidroeléctrica	240	Occidental	Energía Hidráulica
16	Zimapán	Hidroeléctrica	292	Occidental	Energía Hidráulica
17	Fco. Perez Ríos (Tula)	Termoeléctrica	1,982	Central	Combustóleo y Gas
18	Valle de México	Termoeléctrica	838	Central	Combustóleo y Gas
19	J. Luque	Termoeléctrica	224	Central	Gas
20	Manzanillo I y II	Termoeléctrica	1,900	Occidental	Combustóleo
21	Salamanca	Termoeléctrica	866	Occidental	Combustóleo
22	Villa de Reyes (SLP)	Termoeléctrica	700	Occidental	Combustóleo
23	Altamira	Termoeléctrica	770	Noreste	Combustóleo
24	A. López Mateos (Tuxpan)	Termoeléctrica	2,100	Oriental	Combustóleo
25	Monterrey	Termoeléctrica	465	Noreste	Combustóleo y Gas
26	Río Bravo	Termoeléctrica	375	Noreste	Combustóleo y Gas
27	Francisco Villa	Termoeléctrica	399	Norte	Combustóleo
28	Samalayuca	Termoeléctrica	316	Norte	Combustóleo y Gas
29	Gpe. Victoria (Lerdo)	Termoeléctrica	320	Norte	Combustóleo
30	Puerto Libertad	Termoeléctrica	632	Noroeste	Combustóleo
31	C. Rodríguez R. (Guaymas II)	Termoeléctrica	484	Noroeste	Combustóleo
32	J. Aceves Pozos (Mazatlán II)	Termoeléctrica	616	Noroeste	Combustóleo
33	Pdte. Juárez (Rosarito)	Termoeléctrica	620	B. California	Combustóleo
34	Lerma (Campeche)	Termoeléctrica	150	Peninsular	Combustóleo
35	Mérida II	Termoeléctrica	168	Peninsular	Combustóleo
36	J.de Dios Bátiz(Topolobampo II)	Termoeléctrica	390*	Noroeste	Combustóleo
37	F. Carrillo P. (Valladolid)	Ciclo Combinado	212	Peninsular	Combustóleo/Diesel
38	J. López Portillo (Río Escondido)	Carboeléctrica	1,200	Noreste	Carbón
39	Carbón II	Carboeléctrica	1,400	Noreste	Carbón
40	Cerro Prieto	Geotérmica	620	B. California	Vapor Endógeno
41	Laguna Verde	Nuclear	1,309	Oriental	Óxido de Uranio
42	A. Olachea A. (San Carlos)	Combust. Interna	65	B. C. Sur	Combustóleo y Diesel
43	Pdte. P. Elías Calles (Petacalco)	Dual	2,100	Occidental	Combustóleo y Carbón

Fuente: Secretaría de Energía. <http://energia.gob.mx/>

*El dilema de la energía*  
 Capítulo III "Tendencias de la Energía Eléctrica"

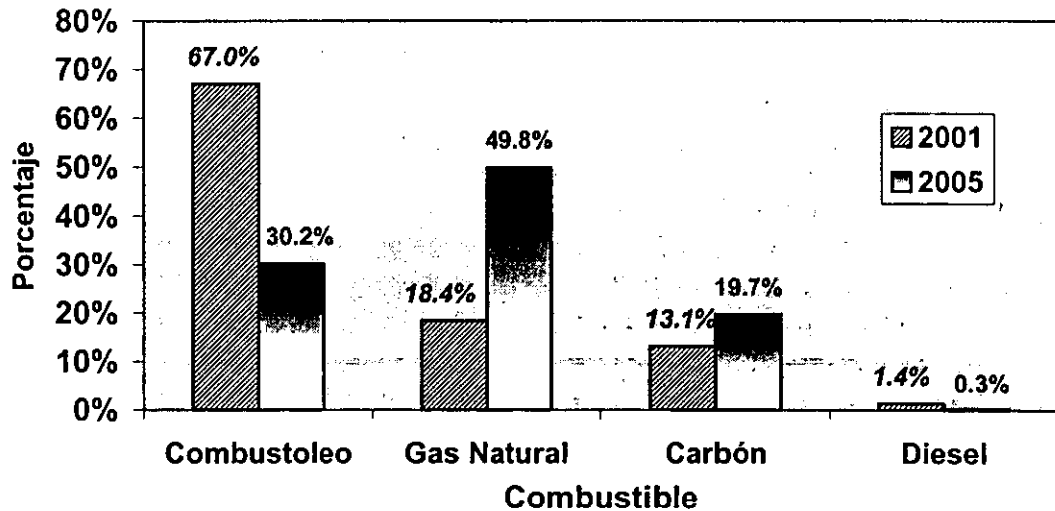
Tabla No. 3.13	Tipo	Capacidad (MW)	No.	Centrales a Instalar	Tipo	Capacidad (MW)
<b>Instaladas</b>	<b>1999</b>		<b>34</b>	La Laguna II U2	Ciclo Combinado	225.0
Huinalá	Ciclo Combinado	139.7	35	Altamira V	Ciclo Combinado	450.0
Río Bravo	Ciclo Combinado	145.1	36	Río Bravo III	Ciclo Combinado	450.0
Rosarito	Ciclo Combinado	164.7				1,988.0
		450			<b>2005</b>	
<b>Instaladas</b>	<b>2000</b>		<b>37</b>	Altamira IV	Ciclo Combinado	450.0
Mérida III U1	Ciclo Combinado	249.5	38	Tuxpan V	Ciclo Combinado	450.0
Monterrey II U1	Ciclo Combinado	500.0	39	Noroeste I	Ciclo Combinado	225.0
Cerro Prieto IV	Geotérmica	107.3	40	Poza Rica	Ciclo Combinado	450.0
Mérida III U2	Ciclo Combinado	249.5	41	Norte I	Ciclo Combinado	225.0
		1,106.0	42	Matamoros I	Ciclo Combinado	450.0
<b>Proyectos</b>	<b>2001</b>		<b>43</b>	Guerrero Negro II	Combustión interna	9.0
Trés Vírgenes	Geotérmica	10.9	44	Baja Calif. I	Ciclo Combinado	225.0
Pto. San Carlos	Combustión interna	42.2				2,484.0
Chihuahua II	Ciclo Combinado	449.3			<b>2006</b>	
Guerrero Negro I	Combustión interna	10.7	45	Valladolid	Ciclo Combinado	450.0
Rosarito 8 y 9	Ciclo Combinado	559.0	46	Poza Rica II	Ciclo Combinado	450.0
Río Bravo II	Ciclo Combinado	511.4	47	Noroeste II	Ciclo Combinado	225.0
Hermosillo	Ciclo Combinado	258.3	48	Altamira VII	Ciclo Combinado	450.0
Saltillo	Ciclo Combinado	255.7	49	Tres Vírgenes	Ciclo Combinado	5.0
Tuxpan II	Ciclo Combinado	511.4	50	Baja Calif. II	Ciclo Combinado	225.0
Bajío (El Sauz)	Ciclo Combinado	511.4	51	Matamoros II	Ciclo Combinado	450.0
		3,120.0	52	Coatzacoalcos I	Ciclo Combinado	450.0
	<b>2002</b>					2,705.0
Monterrey III	Ciclo Combinado	505.1			<b>2007</b>	
El Sauz U2	Ciclo Combinado	278.0	53	El Cajón U1	Hidroeléctrica	318.0
Valle de México	Ciclo Combinado	226.0	54	Altamira VIII	Ciclo Combinado	450.0
Altamira II	Ciclo Combinado	450.0	55	Dos Bocas I	Ciclo Combinado	450.0
Los Azufres II	Geotérmica	100.0	56	Baja Calif. Sur II	Ciclo Combinado	37.5
		1,559.0	57	Noroeste III	Ciclo Combinado	225.0
	<b>2003</b>		<b>58</b>	Norte II	Ciclo Combinado	225.0
Campeche	Ciclo Combinado	225.0	59	Baja Calif. III	Ciclo Combinado	225.0
Naco Nogales	Ciclo Combinado	225.0	60	Poza Rica III	Ciclo Combinado	450.0
Chihuahua III	Ciclo Combinado	225.0	61	Coatzacoalcos II	Ciclo Combinado	450.0
Rosarito 10 y 11	Ciclo Combinado	450.0	62	El Cajón U2	Hidroeléctrica	318.0
Tuxpan III y IV	Ciclo Combinado	900.0				3,149
Altamira III y IV	Ciclo Combinado	900.0			<b>2008</b>	
Chicoasén U6	Hidroeléctrica	300.0	63	Noreste I	Ciclo Combinado	450.0
		3,225.0	64	Copainalá	Hidroeléctrica	210.0
	<b>2004</b>		<b>65</b>	La Parota	Hidroeléctrica	765.0
Chicoasén U7	Hidroeléctrica	300.0	66	Noroeste IV	Ciclo Combinado	225.0
Chicoasén U8	Hidroeléctrica	300.0	67	Norte II y IV	Ciclo Combinado	450.0
La Laguna II U1	Ciclo Combinado	225.0	68	Poza Rica IV	Ciclo Combinado	450.0
Baja Cal. Sur I	Ciclo Combinado	37.5				2,550.0

nte: CFE Demanda de electricidad, Proyectos para satisfacerla, Mecanismos de financiamiento Informe 26-Mayo-2000

### 3.2.4 Generación de electricidad por combustible al 2005.

Con la finalidad de diversificar las fuentes de energía para la generación de electricidad, la CFE ha proyectado el uso de combustóleo, gas natural, carbón y diesel de la siguiente forma.

**Gráfica No.3.12 PORCENTAJE DE CONSUMO POR COMBUSTIBLE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO PARA EL PERÍODO 2001-2005**



Fuente: López, Barajas Fernando, «El carbón, vital para el futuro de la energía eléctrica en México», periódico El Heraldo, 3-mayo-2001, pág. 13-A.

El consumo de gas natural y carbón se incrementará en dicho sector por lo que ha de resultar muy atractivo para los inversionistas invertir en estas dos fuentes de energía.

La dependencia contempla de aquí al 2009 la construcción de 47 nuevas centrales eléctricas con tecnología de ciclo combinado, las cuales utilizarán exclusivamente gas natural como combustible.

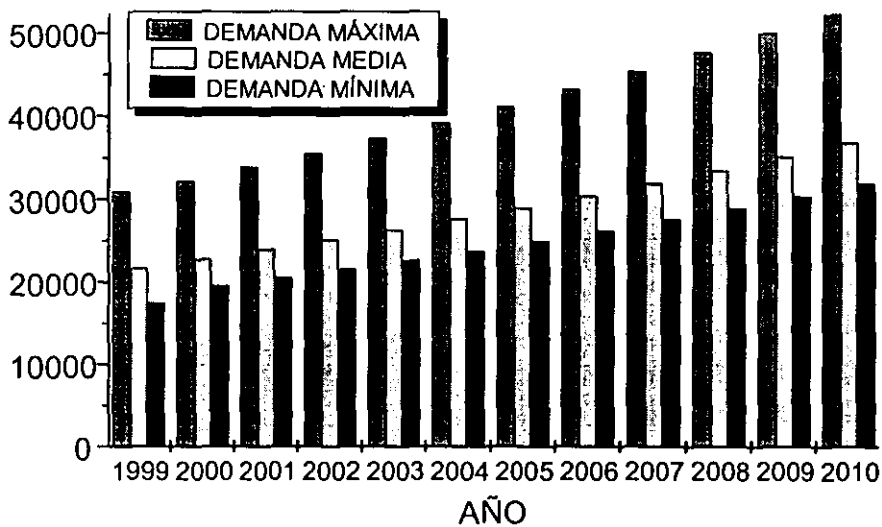
La meta es ambiciosa pero se pretende aumentar a 30% o más el margen de reserva operativo del sistema eléctrico, lo cual eliminaría todo riesgo de una crisis eléctrica, como la que actualmente está sufriendo el California en los EU, Brasil y varios países europeos, ya que hoy ese margen es de apenas 14%.

### 3.2.5 Demanda de energía eléctrica al 2010.

En la siguiente gráfica se muestra la demanda bruta estimada de energía eléctrica para los próximos 10 años en donde la demanda máxima está calculada para los periodos como el mes de diciembre, que aumenta considerablemente.

La demanda media es la que se usa normalmente durante una gran parte del año y la demanda mínima está calculada para periodos en los cuales se hace menos uso de este fluido.

DEMANDA BRUTA ESTIMADA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
1999-2010 (megawatts)



Gráfica No. 3.13

Fuente: Secretaría de Energía, Revista Este País<sup>4</sup>

Nota: La gráfica original está calculada hasta el 2007, pero siguiendo su comportamiento se extrapola al 2010.

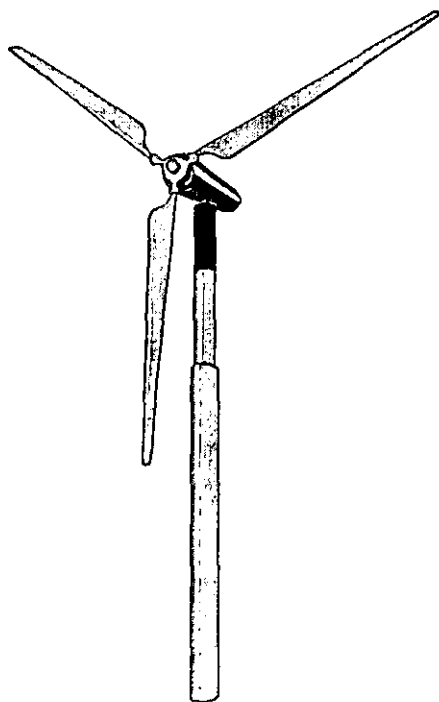
Según cálculos de la Secretaría de Energía la demanda media de energía eléctrica crecerá, entre 1999 y el 2007, 50%. Esto quiere decir que en 2007 la demanda será de 31,489 megawatts o sea 21,743 MW de capacidad de generación adicional.<sup>7</sup>

### **3.2.6 Resumen del sector eléctrico en México.**<sup>8</sup>

- Capacidad instalada actual 36,268.5 MW
- Total de plantas: 63
- Producción en proyectos ajenos a CFE: 3,385 MW
- Producción de particulares 1,731 MW
- Producción de PEMEX: 1,654 MW
- Crecimiento de la demanda en los últimos 30 años: 6.9%
- De 1990 a la fecha tasa de crecimiento anual: 5.1%
- De 1990 a la fecha tasa de crecimiento de la producción: 4.5%
- De 2000 a 2009 crecimiento demanda: 6%
- Crecimiento para atender demanda: de 30-35 mil MW
- Requerimientos financieros **para crecimiento: 500,000 a 590,000 millones de pesos.**
- Requerimientos de CFE **para modernizarse: 8,500 a 20,000 millones de dólares.**

# Capítulo IV

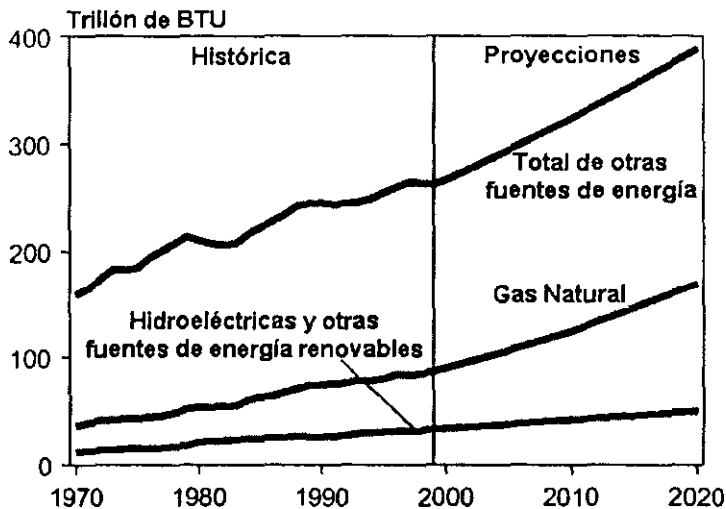
## "Fuentes de Energía Renovables"



## CAPÍTULO IV "FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES"

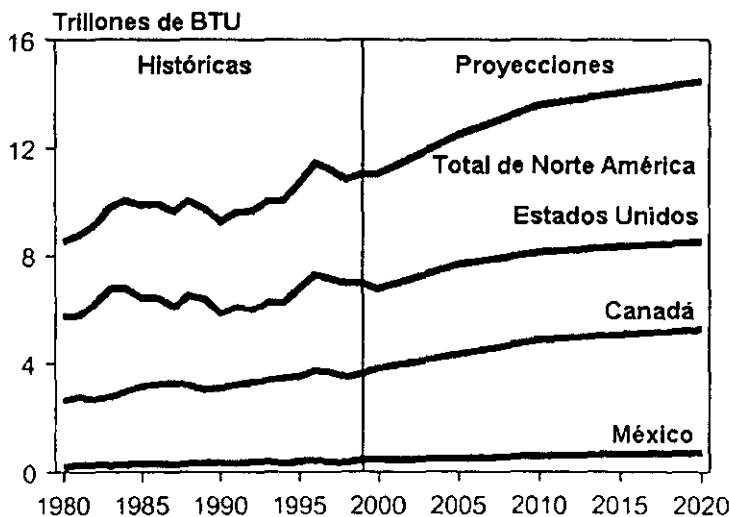
### 4.1 CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA.

Dentro de las fuentes de energía renovables más usadas se encuentran la hidráulica, eólica, solar, geotérmica y biomasa, existen otras conocidas ya sea en forma teórica ó que por el momento no representan algunos inconvenientes como el no ser viables desde el punto de vista económico, por cuestiones de retraso tecnológico, ó por aspectos de seguridad mundial como es el caso del uso de la antimateria.



**Gráfica No. 4.1 Consumo mundial de energía renovable, para el para el período 1970-2020**

Fuentes: **Histórica:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones:** EIA, *Annual Energy Outlook 2001*, DOE/EIA-0383(2001) (Washington, DC, December 2000), Table A1; and World Energy Projection System (2001)



**Gráfica No. 4.2 Consumo mundial de energía renovable, en Norte América para el período 1980-2020**

Fuentes: **Histórica:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). **Proyecciones:** EIA, *Annual Energy Outlook 2001*, DOE/EIA-0383(2001) (Washington, DC, December 2000), Table A1; and World Energy Projection System (2001)

**Tabla No. 4.1 Consumo mundial de energía hidroeléctrica y otras renovables para el período 1990-2020 (trillones de BTU)**

Región ó País	Histórica			Proyecciones				Crecimiento anual para el período 1999-2020
	1990	1998	1999	2005	2010	2015	2020	
<b>Países Industrializados</b>								
EUA <sup>a</sup>	5.8	7.0	7.0	7.7	8.1	8.4	8.5	1.0 %
Canadá	3.1	3.5	3.6	4.3	4.9	5.0	5.2	1.8 %
"México"	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	2.2 %
<b>Total de Norte América</b>	<b>9.3</b>	<b>10.8</b>	<b>11.1</b>	<b>12.5</b>	<b>13.6</b>	<b>14.1</b>	<b>14.5</b>	<b>1.3 %</b>
Reino Unido	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	3.7 %
Francia	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1	1.8 %
Alemania	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	4.9 %
Italia	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.9 %
Holanda	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	6.5 %
Otros Europa Occidental	3.2	3.7	3.7	4.1	4.2	4.4	4.7	1.2 %
<b>Total de Europa Occidental</b>	<b>4.5</b>	<b>5.4</b>	<b>5.6</b>	<b>6.5</b>	<b>7.1</b>	<b>7.6</b>	<b>8.2</b>	<b>1.8 %</b>
Japón	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.5	1.6	1.5 %
Australasia	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	1.4 %
<b>Total Industrializados de Asia</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>	<b>2.3</b>	<b>1.4 %</b>
<b>Total Industrializados</b>	<b>15.4</b>	<b>18.0</b>	<b>18.3</b>	<b>20.8</b>	<b>22.6</b>	<b>23.7</b>	<b>24.9</b>	<b>1.5 %</b>
ExURSS	2.4	2.3	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	0.9 %
Europa del Este	0.4	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.7	5.0 %
<b>Total EE/ExURSS</b>	<b>2.8</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.2</b>	<b>3.5</b>	<b>4.0</b>	<b>4.5</b>	<b>2.1 %</b>
<b>Vías de desarrollo</b>								



*El dilema de la energía*  
 Capítulo IV "Fuentes de Energía Renovables"

China	1.3	2.1	2.3	3.5	4.4	5.5	6.6	5.1 %
India	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	1.7	3.3 %
Corea del Sur	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	7.9 %
Otros de Asia	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	1.8 %
<b>Vías de desarrollo de Asia</b>	<b>3.2</b>	<b>4.3</b>	<b>4.6</b>	<b>6.2</b>	<b>7.4</b>	<b>9.0</b>	<b>10.5</b>	<b>4.0 %</b>
Turquía	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	2.0 %
Otros de Medio Oriente	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	6.9 %
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>4.1 %</b>
<b>Total de África</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>2.7 %</b>
Brasil	2.2	3.1	3.3	3.5	3.6	3.7	3.7	0.6 %
Otros de Centro y Sudamérica	1.7	2.5	2.4	2.7	2.9	3.4	3.9	2.3 %
<b>Total de Centro y Sudamérica</b>	<b>3.9</b>	<b>5.6</b>	<b>5.7</b>	<b>6.2</b>	<b>6.6</b>	<b>7.0</b>	<b>7.6</b>	<b>1.4 %</b>
<b>Total en vías de desarrollo</b>	<b>8.0</b>	<b>11.1</b>	<b>11.5</b>	<b>14.1</b>	<b>15.8</b>	<b>18.2</b>	<b>20.5</b>	<b>2.8 %</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>26.3</b>	<b>32.0</b>	<b>32.7</b>	<b>38.1</b>	<b>41.9</b>	<b>45.9</b>	<b>50.0</b>	<b>2.0 %</b>

<sup>93</sup> Incluye los 50 estados y el distrito de Columbia. U.S. Territories are included in Australasia.  
 Fuentes: Histórica: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001). Proyecciones: EIA, *Annual Energy Outlook 2001*, DOE/EIA-0383(2001) (Washington, DC, December 2000), Table A1; and World Energy Projection System (2001).

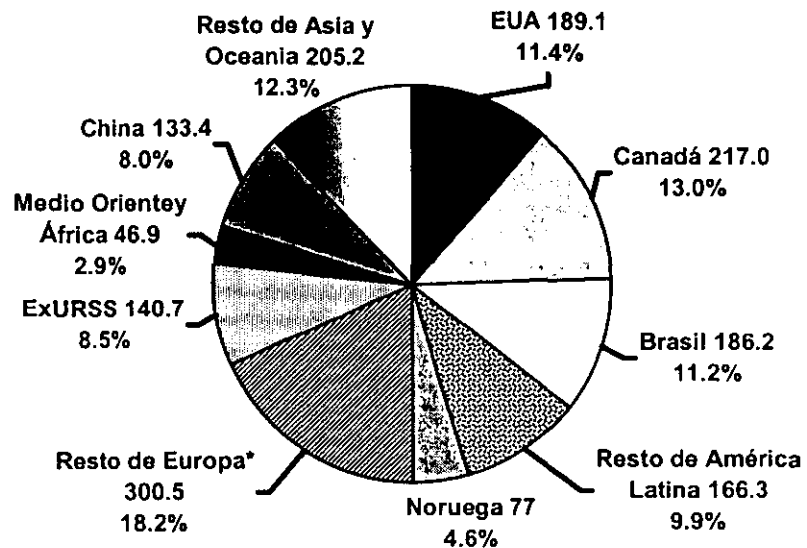
## 4.2 ENERGÍA ELÉCTRICA PROVENIENTE DE PLANTAS HIDROELÉCTRICAS.

Actualmente una de las fuentes de energía renovables que más se explota es la energía hidráulica, principalmente en plantas hidroeléctricas abarcando más del 95% a nivel mundial.

Los caudales que forman riachuelos y cascadas en las montañas pueden aprovecharse para impulsar turbinas y generar energía eléctrica. La Organización Latinoamericana de Energía clasifica las centrales generadoras, según su tamaño, en: microcentrales hasta un límite de 50 Kw., minicentrales de 50 a 500 Kw. y pequeñas centrales hidroeléctricas de 500 a 5,000 KW.

### 4.2.1 Consumo Mundial.

**Gráfica No. 4.3 CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PLANTAS HIDROELÉCTRICAS 1999**



FUENTE: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/hydroelectricity/index.htm> datos reportados durante el año 2000  
Nota: \*No incluye a la ExURSS;

La producción de petróleo en 1999 fue de 73.4 millones de barriles de petróleo por día, mientras que el consumo en el sector hidroeléctrico representó 4.55 millones de barriles, esto quiere decir que hubo un ahorro considerable del 6.2%.

Tabla No. 4.2 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROVENIENTE DE PLANTAS HIDROELÉCTRICAS  
(Equivalente en millones de barriles de petróleo)

Pais o Región	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Variación 1998-1999	Porcentaje del total 1999
EUA	170.8	180.3	177.4	154.7	170.8	156.9	189.1	211.1	217.0	195.7	189.1	-3.4%	11.4%
Canadá	184.0	186.9	194.2	199.4	203.0	206.7	211.1	223.6	221.4	208.9	217.0	3.6%	13.0%
México	15.4	14.7	13.9	16.9	16.9	12.5	17.6	19.8	16.9	15.4	20.5	31.8%	1.2%
<b>Total de Norteamérica</b>	<b>370.2</b>	<b>381.9</b>	<b>385.6</b>	<b>370.9</b>	<b>390.7</b>	<b>376.0</b>	<b>417.8</b>	<b>454.5</b>	<b>455.2</b>	<b>420.0</b>	<b>426.6</b>	<b>1.4%</b>	<b>25.6%</b>
Argentina	8.1	11.7	10.3	12.5	15.4	16.9	16.9	14.7	17.6	16.9	14.7	-14.0%	0.9%
Brasil	129.0	130.5	137.1	140.7	148.1	153.2	159.8	167.9	175.9	184.0	186.2	1.5%	11.2%
Chile	5.9	5.9	8.1	10.3	11.0	11.0	11.7	10.3	11.7	10.3	8.8	-15.6%	0.5%
Colombia	16.9	17.6	17.6	13.9	17.6	20.5	20.5	22.7	19.8	19.1	21.3	9.8%	1.3%
Ecuador	2.9	2.9	2.9	2.9	3.7	4.4	3.7	3.7	4.4	4.4	4.4	2.7%	0.3%
Perú	6.6	6.6	7.3	5.9	7.3	8.1	8.1	8.1	8.1	8.8	8.8	1.0%	0.5%
Venezuela	22.0	23.5	27.9	30.1	30.1	32.3	32.3	33.7	35.9	37.4	37.4	-1.2%	2.2%
Otros de Cent. y Sudamérica	27.9	31.5	32.3	31.5	35.9	38.1	41.0	46.9	50.6	49.1	50.6	2.9%	3.0%
<b>Total de Cent. y Sudamérica</b>	<b>219.2</b>	<b>230.2</b>	<b>243.4</b>	<b>247.8</b>	<b>269.0</b>	<b>284.4</b>	<b>293.9</b>	<b>307.9</b>	<b>324.0</b>	<b>329.9</b>	<b>332.0</b>	<b>0.6%</b>	<b>19.9%</b>
Austria	22.7	20.5	20.5	22.7	24.2	23.5	24.2	22.7	23.5	23.5	27.9	17.2%	1.7%
Bélgica y Luxemburgo	1.5	0.7	1.5	1.5	0.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	-12.0%	0.1%
Bulgaria	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.7	1.5	2.2	1.5	1.5	1.5	-	0.1%
República Checa	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	19.8%	0.1%
Dinamarca	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	-	†
Finlandia	8.1	6.6	8.1	9.5	8.8	7.3	8.1	7.3	7.3	9.5	8.1	-13.6%	0.5%
Francia	32.3	35.9	38.8	45.4	42.5	51.3	47.6	44.0	42.5	41.8	48.4	15.9%	2.9%
Alemania	13.2	12.5	11.7	13.2	13.2	13.9	15.4	13.9	13.2	13.2	14.7	10.7%	0.9%
Grecia	1.5	1.5	2.2	1.5	1.5	1.5	2.2	2.9	2.9	2.2	2.2	1.8%	0.1%
Hungría	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	23.1%	†
Islandia	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.7	3.7	7.7%	0.2%
República de Irlanda	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-7.8%	†
Italia	23.5	22.0	28.6	28.6	27.9	30.1	26.4	29.3	29.3	30.1	32.3	9.0%	2.0%
Holanda	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	12.5%	†
Noruega	74.8	76.2	69.6	74.0	75.5	71.1	77.0	65.2	69.6	73.3	77.0	4.8%	4.6%
Polonia	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.9	2.9	-1.1%	0.2%
Portugal	3.7	5.9	5.9	2.9	5.9	6.6	5.1	9.5	8.1	8.1	8.1	0.2%	0.5%
Rumania	8.1	6.6	8.8	7.3	8.1	8.1	10.3	10.3	11.0	11.7	11.7	-3.1%	0.7%

*El dilema de la energía*  
*Capítulo IV Fuentes de energía renovables "Energía Hidráulica"*

Eslovaquia	1.5	1.5	1.5	1.5	2.2	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.2	-26.7%	0.1%
España	12.5	16.9	17.6	13.2	16.1	18.3	15.4	26.4	23.5	24.9	19.1	-22.1%	1.1%
Suecia	45.4	46.2	40.3	46.9	47.6	37.4	42.5	32.3	43.2	46.2	44.0	-4.5%	2.7%
Suiza	19.1	19.8	21.3	21.3	22.7	24.9	22.7	19.1	22.0	22.0	25.7	18.4%	1.6%
Turquía	11.0	14.7	14.7	16.9	21.3	19.1	22.7	25.7	24.9	26.4	22.0	-17.9%	1.3%
Reino Unido	4.4	4.4	3.7	4.4	3.7	4.4	4.4	2.9	3.7	4.4	4.4	8.7%	0.3%
Otros de Europa	16.9	13.9	18.3	16.1	14.7	16.1	17.6	22.0	17.6	17.6	18.3	3.2%	1.1%
<b>Total de Europa</b>	<b>307.9</b>	<b>313.7</b>	<b>321.1</b>	<b>335.0</b>	<b>344.5</b>	<b>346.0</b>	<b>354.8</b>	<b>347.4</b>	<b>355.5</b>	<b>369.4</b>	<b>377.5</b>	<b>2.4%</b>	<b>22.8%</b>
Azerbaiyán	0.7	0.7	1.5	1.5	1.5	1.5	0.7	0.7	0.7	1.5	0.7	-16.8%	0.1%
Belarús	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	-	†
Kazajstán	4.4	4.4	4.4	4.4	5.1	5.9	5.1	4.4	4.4	4.4	4.4	-	0.3%
Federación Rusa	100.4	104.8	106.3	108.5	110.7	110.7	111.4	96.8	99.0	99.7	101.2	1.4%	6.1%
Turkmenistán	†	0.7	0.7	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ucrania	6.6	6.6	7.3	5.1	7.3	8.1	6.6	5.9	6.6	10.3	7.3	-26.4%	0.4%
Uzbekistán	3.7	4.4	3.7	3.7	4.4	4.4	3.7	4.4	3.7	4.4	4.4	1.6%	0.2%
Otros de la ExURSS	24.2	27.1	24.9	24.2	25.7	25.7	24.2	24.2	22.7	22.7	22.7	2.2%	1.4%
<b>Total de la ExURSS</b>	<b>140.0</b>	<b>148.8</b>	<b>148.8</b>	<b>148.1</b>	<b>154.7</b>	<b>156.1</b>	<b>151.7</b>	<b>136.3</b>	<b>137.1</b>	<b>142.9</b>	<b>140.7</b>	<b>-0.6%</b>	<b>8.5%</b>
Irán	4.4	4.4	4.4	5.9	5.9	5.1	5.1	5.1	3.7	4.4	2.9	-31.4%	0.2%
Otros de Medio Oriente	1.5	1.5	1.5	2.2	1.5	2.2	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	-4.1%	0.2%
<b>Total de Medio Oriente</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>8.1</b>	<b>7.3</b>	<b>7.3</b>	<b>8.1</b>	<b>8.1</b>	<b>6.6</b>	<b>7.3</b>	<b>5.9</b>	<b>-20.7%</b>	<b>0.4%</b>
Algeria	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	-	†
Egipto	5.9	5.9	6.6	6.6	6.6	7.3	7.3	7.3	7.3	8.1	8.1	2.8%	0.5%
Sudáfrica	2.2	1.5	2.2	1.5	0.7	1.5	1.5	2.2	1.5	1.5	2.2	8.5%	0.1%
Otros de África	27.9	29.3	30.8	30.8	28.6	29.3	31.5	30.8	31.5	30.1	30.8	2.8%	1.9%
<b>Total de África</b>	<b>35.9</b>	<b>36.7</b>	<b>39.6</b>	<b>38.8</b>	<b>35.9</b>	<b>38.1</b>	<b>40.3</b>	<b>40.3</b>	<b>40.3</b>	<b>39.6</b>	<b>41.0</b>	<b>3.1%</b>	<b>2.5%</b>
Australia	9.5	9.5	10.3	9.5	11.0	10.3	9.5	10.3	9.5	10.3	11.0	5.9%	0.7%
Bangladesh	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	4.3%	†
China	74.8	79.9	79.2	83.6	90.9	104.8	117.3	118.0	118.0	125.3	133.4	6.5%	8.0%
India	39.6	41.8	46.9	44.0	44.7	50.6	47.6	43.2	44.0	52.8	50.6	-4.2%	3.0%
Indonesia	3.7	3.7	3.7	5.1	5.1	4.4	5.1	5.9	3.7	4.4	5.1	4.0%	0.3%
Japón	60.8	59.4	65.2	55.7	66.0	48.4	55.7	55.0	59.4	66.0	58.6	-10.7%	3.5%
Malasia	3.7	2.2	2.9	2.9	2.9	4.4	3.7	2.9	2.2	2.2	2.9	11.8%	0.2%
Nueva Zelanda	13.9	14.7	13.9	13.2	14.7	16.1	16.9	16.1	14.7	15.4	15.4	1.4%	0.9%
Pakistán	11.0	11.0	11.7	12.5	13.9	13.9	14.7	15.4	11.7	15.4	13.2	-10.8%	0.8%

Filipinas	4.4	3.7	2.9	2.9	2.9	3.7	3.7	4.4	3.7	2.9	5.1	54.6%	0.3%
Corea del Sur	2.9	3.7	2.9	2.9	3.7	2.9	3.7	2.9	3.7	3.7	3.7	-0.6%	0.2%
Taiwán	4.4	5.1	3.7	5.1	4.4	5.9	5.9	5.9	5.9	6.6	5.9	-15.7%	0.4%
Tailandia	3.7	2.9	2.9	2.9	2.2	2.9	4.4	4.4	4.4	2.9	2.2	-31.7%	0.1%
Otros de Asia del Pacífico	24.9	26.4	28.6	24.9	25.7	27.1	27.9	28.6	29.3	30.1	30.8	2.9%	1.9%
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>258.0</b>	<b>264.6</b>	<b>275.6</b>	<b>266.1</b>	<b>288.8</b>	<b>296.1</b>	<b>315.9</b>	<b>313.7</b>	<b>310.8</b>	<b>338.6</b>	<b>338.6</b>	<b>-0.3%</b>	<b>20.3%</b>
<b>Balance Mundial</b>	<b>1337.0</b>	<b>1381.7</b>	<b>1419.8</b>	<b>1414.7</b>	<b>1490.9</b>	<b>1504.1</b>	<b>1582.5</b>	<b>1608.2</b>	<b>1629.5</b>	<b>1647.8</b>	<b>1662.4</b>	<b>0.9%</b>	<b>100.0%</b>
OCDE	737.4	759.4	768.9	760.9	804.1	771.8	826.1	848.8	864.9	851.0	859.1	1.1%	51.7%
Unión Europea 15	169.3	173.7	179.6	190.6	192.8	196.4	193.5	193.5	199.4	206.0	211.1	3.0%	12.8%
Otros de EME‡	431.7	450.1	472.1	479.4	505.8	548.3	572.5	585.7	594.5	620.1	628.9	1.1%	37.7%

FUENTE: Internet <http://www.bp.com/worldenergy/hydroelectricity/index.htm> datos reportados durante el año 2000

Nota: Los datos originales están en base a, toneladas de petróleo, pero para una mejor comprensión se recalcularon en base a barriles de petróleo

†Menos de 0.05.

‡Excluye Europa Central y ExURSS

La cifra contenida en un rectángulo de color negro, se refiere al dato que más destaca

#### **4.2.2 Sector Hidroeléctrico en México.**

Las pequeñas centrales hidroeléctricas han sido utilizadas en México desde fines del siglo XIX en varios estados de la República Mexicana; estas plantas fueron abandonándose por problemas gremiales y de legislación. La Comisión Federal de Electricidad dejó de instalar plantas desde hace 30 años.

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, en su papel de promotora de las Energías Renovables, actualmente patrocina un proyecto para realizar la evaluación del potencial minihidroeléctrico nacional en los estados de Veracruz y Puebla para centrales con capacidades menores a 5 MW. Los resultados preliminares del proyecto arrojan un potencial del orden de 400 MW. Del mismo proyecto se ha desprendido la posibilidad de rehabilitar una minihidroeléctrica en Ixtaczoquitlán, Ver., la cual tiene actualmente una capacidad de 500 Kw. y se piensa que puede llegar a 2 MW.

**El potencial Hidroeléctrico total nacional se estima en 53,000 MW** del cual se tienen identificados 541 sitios con un potencial de 19,600 MW. Según los datos proporcionados por la CFE el potencial hidroeléctrico aprovechado actualmente para generación de electricidad asciende a los **9,618 MW (18.1%)** en 77 centrales con una generación anual de poco más de 20,000 GWh al año.

**El potencial estimado para centrales con capacidades instaladas menores a los 10 MW** se sitúa en los **3,250 MW**. Actualmente se han instalado 34 centrales dentro de este rango de capacidad, en los que se ha instalado una capacidad total de 109 MW, generándose anualmente 479 GWh. Una tarea importante que se deberá cumplir en breve, a fin de promover el aprovechamiento de estos recursos, es el estudio de la posibilidad técnica y económica de desarrollar proyectos en los distintos sitios identificados.<sup>1</sup>

#### **4.2.3 Impacto ambiental.**

##### **Presa de Asuán en Egipto una lección que no debe olvidarse.**

Este tipo de fuente no es contaminante desde el punto de vista de emisiones a la atmósfera, pero su impacto en el suelo o en el entorno puede ser devastador si no se hace un estudio meticuroso para la construcción de plantas hidroeléctricas, tal es el caso de la **presa de Asuán en Egipto** (aporta tanta energía como dos centrales nucleares), que ha provocado un desastre ecológico bastante serio.

Durante milenios el hombre pudo utilizar el humus que bajaba de las montañas etíopes, y que las crecidas del Nilo distribuían cada verano sobre las llanuras egipcias.

Ese proceso milenario fue interrumpido en la década de 1960 con la construcción de la presa de Asuán. Desde entonces el limo yace inutilizado en las aguas del lago Nasser, cuenca artificial de aproximadamente 6,000 kilómetros cuadrados, creando encima una importante barrera que elevó 60 cm el nivel del río.

Mientras que el lago se llena de fango, el Nilo corre sin ese humus que nutrió la tierra y los peces de su inmenso delta. Los recursos piscícolas casi han desaparecido y la agricultura egipcia debe recurrir a fertilizantes químicos, cuya producción, **paradójicamente, requiere más energía que la producida por la presa.**

Y aún más: esas tierras sufren ahora infiltraciones de aguas salobres; los canales de riego son insuficientes; la productividad agrícola global ha descendido el lago Nasser aún no se ha llenado y nunca se llenará porque el calor solar continuará transformando en vapor una buena parte de esa gran masa en agua estancada.

Los proyectistas no tuvieron en cuenta correctamente el fenómeno de la evaporación. El resultado es una continua pérdida de vapor de agua con importantes modificaciones climáticas.<sup>2</sup>

La presa de Asuán al igual que Chernovil tienen que ser muy tomados en cuenta tanto en México como en el mundo, ya que cuando se selecciona un proceso para producir energía eléctrica, si no se toman las medidas adecuadas, si no se hace un estudio técnico económico tomando muy en cuenta los factores sobre el impacto ambiental y si siguen persistiendo intereses personales, entonces la historia puede repetirse y la dura lección que nos han dado estos dos casos habrá sido en vano.

Con esto no quiere decirse que no se aproveche este recurso, desde luego que si el país tiene un potencial hay que explotarlo pero de una manera conciente y racional.

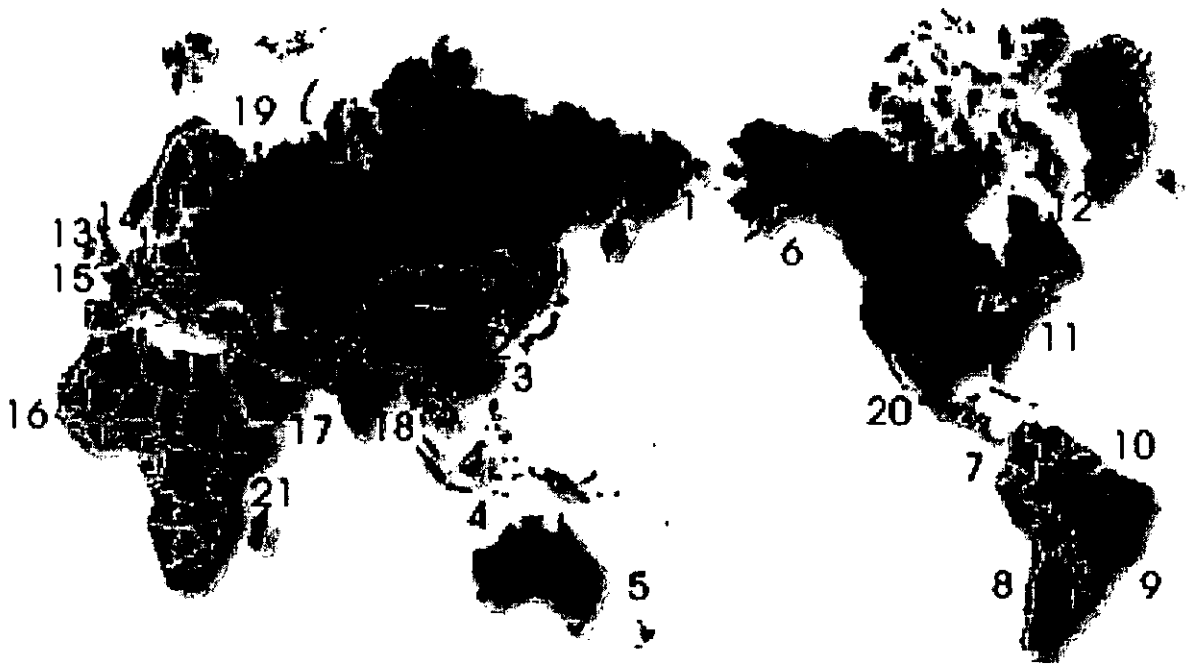
El principal impacto ambiental producido por estos diques son:

- 1) Producen pérdidas de suelo productivo, en la cobertura vegetal y fauna terrestre por inundación del terreno destinado al embalse.
- 2) También provocan disminución en el caudal de ríos y arroyos, así como alteración en la calidad de las aguas y repercusiones en la fauna acuática.
- 3) Lo imposible puede suceder y a sucedido; los diques no deberían de ceder pero en algunas ocasiones se han derrumbado, provocando pérdidas ultra millonarias a su paso. No es frecuente que en plantas hidroeléctricas ó en plantas nucleares existan accidentes severos, pero cuando estos ocurren sus efectos suelen ser devastadores.

### 4.3 ENERGÍA DE LAS MAREAS.

#### 4.3.1 Potencial Mundial.

La Agencia Internacional de Energía ha calculado que los diversos proyectos en el mundo podrían producir en teoría 635,000 GWh de energía.<sup>3</sup> Lo que equivaldría a 441 plantas nucleares de 1,000 MW con una eficiencia máxima del 40% ó 534 termoeléctricas de la misma capacidad con una eficiencia del 33%.



Mapa No. 4.1 Sitios potenciales para la generación de energía eléctrica a partir de las mareas.

Fuente: Internet <http://tidalelectric.com/projects/sites/index.html>

Tabla No. 4.3 Ubicación Geográfica de sitios que son económicamente factibles para la generación de energía eléctrica.

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1. Siberia                 | 12. Bahía de Frobisher, Canadá  |
| 2. Inchon, Corea           | 13. Wales, Reino Unido y Río Severn en Inglaterra (Proyecto Presa Severn con una capacidad de 7,200MW con un costo aprox. de 8,250 millones de dólares) |
| 3. Hangchow, China         | 14. Antwerp, Bélgica  |
| 4. Hall's Point, Australia | 15. LeHavre, Francia  |
| 5. Nueva Zelanda           | 16. Guinea  |
| 6. Anchorage, Alaska       | 17. Gujarat, India (potencial 1,000 MW)   |
| 7. Panamá                  | 18. Burma   |
| 8. Chile                   | 19. Río Semzha, Rusia   |
| 9. Punta Loyola, Argentina | 20. Río Colorado, México (con un potencial de cálculos podría generar hasta 400 millones de kilowatts hora de energía)                                  |
| 10. Brasil                 | 21. Madagascar  |



Los estudios que se han realizado han demostrado que las plantas de mareas deben ubicarse en áreas dentro de un rango de mareas de más de 5 m antes de que se pueda producir la energía.

#### **4.3.2 Plantas instaladas.**<sup>4</sup>

- ★ 240 MWe planta en el Estuario de la René en Francia desde 1966.
- ★ 400 kWe planta en Kislaya Guba en Rusia desde 1967.
- ★ 20 MWe planta Annapolis Royal, Nova Scotia, Canadá desde 1984.
- ★ 100 MWe planta en China desde 1987

Como puede verse, este recurso no es muy explotable en la República Mexicana, por lo que independientemente a la explotación en Baja California, prácticamente se descarta como un recurso para producir energía eléctrica mediante el sistema de estuarios.

Si bien la mayoría de los investigadores han considerado los estudios como los lugares objetivo para las presas de mareas, algunos creen que serían preferibles los esquemas de "costa abierta", ya que pueden localizarse en grandes áreas de agua costera superficial, tal vez unos 6 a 8 Km de distancia de la playa. Quienes proponen las instalaciones de costa abierta creen que tendrán menos impacto ambiental, un costo menor, e incluso que pueden usarse como base de plantas cólicas mar adentro.

Es en este tipo de sistemas de costa abierta donde países como México podrían tener un gran potencial

#### **4.3.3 Impacto Ambiental.**

- 1) Una de las preocupaciones está en la colocación de una barrera que puede afectar una gran área del océano y la playa.
- 2) Con respecto a las aves, la construcción de una presa, cambiará los niveles de agua en ambos lados, alterando naturalmente el ecosistema local.
- 3) Las fuertes corrientes de mareas tienden a elevar y redepositar los sedimentos del fondo, un fenómeno que puede detenerse mediante una gran barrera.
- 4) Los cardúmenes seguramente no podrán emigrar hacia los ríos en donde haya una barrera.
- 5) Las acumulaciones de contaminantes es otro motivo de preocupación. Los ríos con presas tendrán una influencia menos frecuente, lo que conduce a la formación de contaminantes. La disminución resultante del suministro de oxígeno podía representar peligro para los habitantes del río.

#### **4.3.4 Ventajas y Desventajas.**

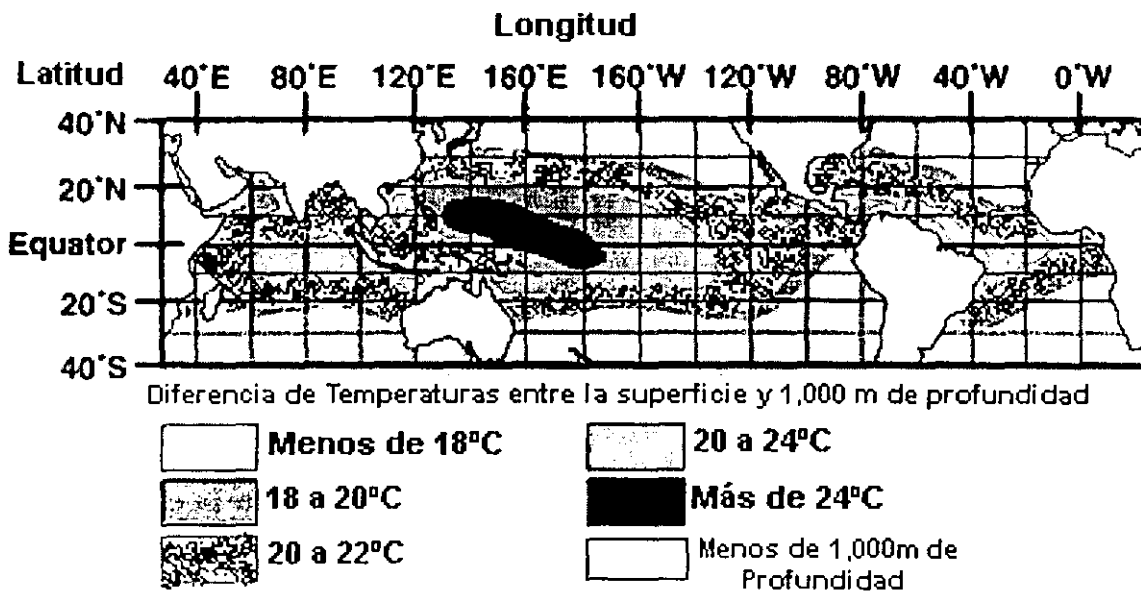
- 1) El tiempo estimado de construcción es de 10 años.
- 2) Los costos iniciales son muy elevados; posiblemente es la fuente de energía que requiere de la mayor inversión (varios miles de millones de dólares)
- 3) Uno de los Beneficios es que este tipo de instalaciones pueden durar más de 100 años.
- 4) Las reservas de los océanos son una fuente inagotable ya que son una constante fuente de energía y por lo tanto no agotan ninguno de nuestros recursos naturales.
- 5) Es una ventaja sobre todo en lugares donde los precios de los combustibles fósiles y su disponibilidad no son estables.
- 6) No hay emisiones de gases invernadero ni de otro tipo que favorezcan la lluvia ácida.

## 4.4 ENERGÍA TÉRMICA DE LOS OCÉANOS.

### 4.4.1 Potencial Mundial.

La conversión de energía térmica oceánica (CETO), se refiere al aprovechamiento de la energía térmica entre el agua que se encuentra en la superficie y a 1000m ó más de profundidad, llegándose a obtener una diferencia de hasta 24°C o un poco más, principalmente en los trópicos de Cáncer y de Capricornio, con los lugares más atractivos en el Pacífico tal como se muestra en el mapa 4.2

Según estimaciones de los expertos, este tipo de fuente energética tiene un potencial de 10<sup>7</sup>MW a nivel mundial.<sup>5</sup>



Mapa No. 4.2 Localización geográfica de las diferentes variaciones de Temperaturas del agua entre la superficie y a mil pies de profundidad.

Fuentes: Internet: <http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/ocean/ocean.html> cortesía de <http://www.nrel.gov/otcc/apps.html>

Nota: El mapa original está en Inglés.

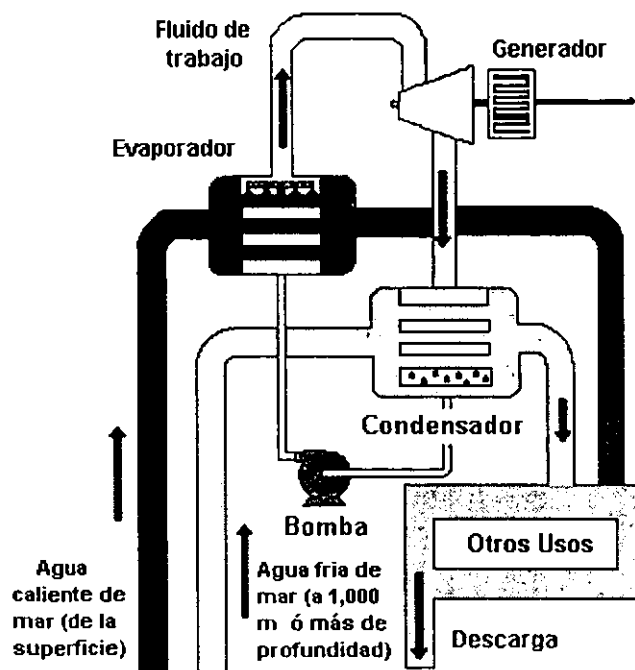
Este concepto no es nada nuevo ya que en 1881 el Físico francés Arsene d'Arson fue el primero en proponer que la electricidad podía generarse explotando las diferencias de temperatura de los océanos.

#### 4.4.2 Sistemas CETO ventajas y desventajas.

En la actualidad existen dos sistemas para convertir en energía eléctrica, las diferencias de temperatura de los océanos: **Sistema de ciclo cerrado y sistema de ciclo abierto.**

Los dos sistemas utilizan el agua templada de mar para vaporizar el fluido de trabajo, el vapor entonces enciende una turbina. El agua de mar fría bombeada desde los niveles más bajos de los océanos, condensa el vapor al encender la turbina. El proceso de condensación proporciona el impulso necesario para que el fluido corra, el cual puede ser agua de mar templada o cualquier otro líquido como el amoníaco. En el último caso, el vapor condensado se bombea de vuelta al evaporador, formando un ciclo cerrado, mientras que en el caso del vapor de agua condensado se descarga.

Cada sistema tiene ventajas y desventajas. Algunos creen que los sistemas de ciclo cerrado ofrecen lo mejor para una aplicación comercial a corto plazo, mientras que otros opinan que las plantas de ciclo abierto serán las más eficientes en términos de costos a la larga, en particular se consideran los subproductos, como la acuicultura, y el agua fresca.



**Figura No. 4.1 Sistema de Ciclo Cerrado**

Fuente: Internet: <http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/ocean/ocean.html> , cortesía de National Energy Laboratory Hawaii (NELHA) Nota: El original está en Inglés; El término agua caliente se refiere al agua templada que se localiza en la superficie del océano.

**Ventajas y desventajas del sistema de ciclo cerrado:** Usan turbinas más pequeñas que las grandes de baja presión empleadas en los sistemas de ciclo abierto. Presentan problemas como el costo, la corrosión (se están considerando diversos materiales como el titanio, y aluminio, aleaciones de cobre y níquel así como el

uso de plásticos), eficiencia y la biodescomposición (cuando la materia marina queda atrapada en el sistema) en los intercambiadores de calor.

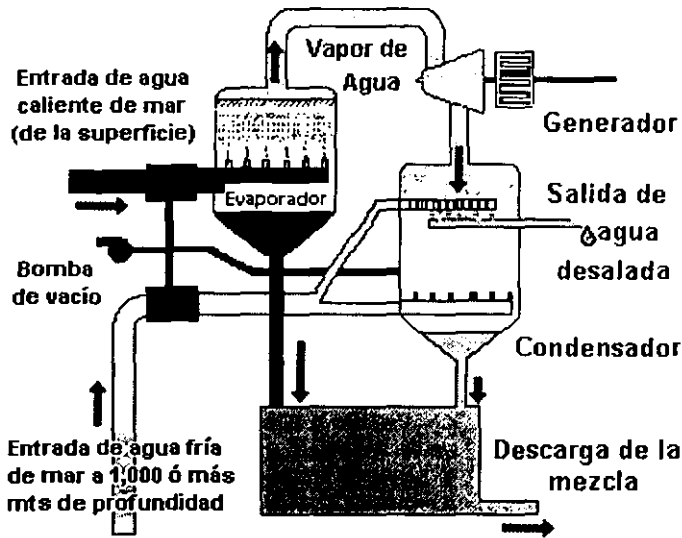


Figura No. 4.2 Sistema de Ciclo Abierto

Fuente: Internet: <http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/ocean/ocean.html> , cortesía de National Energy Laboratory Hawaii (NEHLA) Nota: El original está en Inglés.

**Ventajas del sistema de ciclo abierto:** Es más fácil de construir porque no tiene que soportar una presión tan alta, también tiene la ventaja de obtener subproductos como la acuicultura y el agua desalada.

El potencial de agua fresca obtenida de la CETO es enorme, pues se ha calculado que una planta de 100MW, en el clima apropiado (Hawaii), puede producir unos 15 millones de galones de agua fresca al día o sea  $0.65\text{m}^3$  por segundo.<sup>6</sup>

Sus **desventajas** son: Sus componentes deben mantenerse bajo un elevado vacío y requieren de una turbina más grande (porque el vapor es mucho menos denso que el de un fluido de trabajo en un sistema típico de ciclo cerrado).

Las plantas de ciclo abierto con mayor capacidad generadora de energía todavía tienen que desarrollarse. Actualmente la Secretaría de Energía de Estados Unidos está invirtiendo en el sistema de ciclo abierto ya que se espera desarrollar sistemas que produzcan entre 2 a 15 MWe para usarse cerca de la costa.

Actualmente no existen instalaciones CETO de carácter comercial; el proyecto en Hawaii por el momento es el más avanzado del mundo.

#### **4.4.3 Perspectivas para los inversionistas.**

- 1) Tanto el evaporador como el condensador comprenden aproximadamente el 70% del costo total del sistema CETO.
- 2) Los costos de mantenimiento también pueden ser más altos que las plantas convencionales, pero a la larga esta fuente de energía puede ser bastante costeable ya que los costos de combustible de CETO no existen, así que dependiendo de la vida de una planta CETO, los costos a largo plazo se reducen considerablemente.
- 3) Esta tecnología es particularmente apropiada para países ó provincias pequeñas como Hawaii, Puerto Rico, Islas Vírgenes, y Samoa Americana, que generalmente pagan elevados costos de combustible para generar electricidad.
- 4) Actualmente las plantas están todavía en fase experimental.
- 5) Las planta CETO no generan emisiones de gases de invernadero ni gases que favorezcan a la lluvia ácida, aunque los cambios en la salinidad y temperaturas locales pueden afectar el ecosistema local.
- 6) En lo que se refiere a la eficiencia de los sistemas CETO son apenas del 2% comparado con el 33% de una termoeléctrica o un 33-40% de una nucleoelectrica por lo tanto requieren de enormes cantidades de flujo de agua para producir una cantidad considerable de energía.

Se ha calculado que si los inversionistas pudieran estar seguros que una planta CETO se operará durante 30 años sin reparaciones importantes, entonces existe la oportunidad de que se invierta en este sector.

Por el momento en México no se han hecho estudios al respecto, pero existe un posible potencial en la región sur del país en Guerrero, Oaxaca y Chiapas ya que el rango de temperaturas corresponde entre 20-24°C.





**Figura No. 4.3 Sistema WOSP 3500**

Este es uno de tantos dispositivos que se tienen para poder explotar la energía producida por las olas, con una capacidad de 2MW más 1.5 MW generados por el turbogenerador (3.5MW en total), la cual está diseñada para operar en lugares donde se tengan olas de 15m de altura a un kilómetro de la costa, con un tiempo de vida de 20-60 años.

En este terreno Reino Unido es pionero empezando la investigación en 1970.

Según estimaciones existen 20,000 kilómetros de costa en el mundo donde se podrían instalar generadores de energía eléctrica<sup>8</sup>, con una capacidad de 8MW a un costo de 9-15 centavos de dólar por kWh.

Actualmente países como Australia, Holanda, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Japón, Noruega, Francia y Dinamarca ya se está empezando a explotar esta fuente de energía y están invirtiendo grandes capitales para el desarrollo de nuevos prototipos de generadores de energía eléctrica.

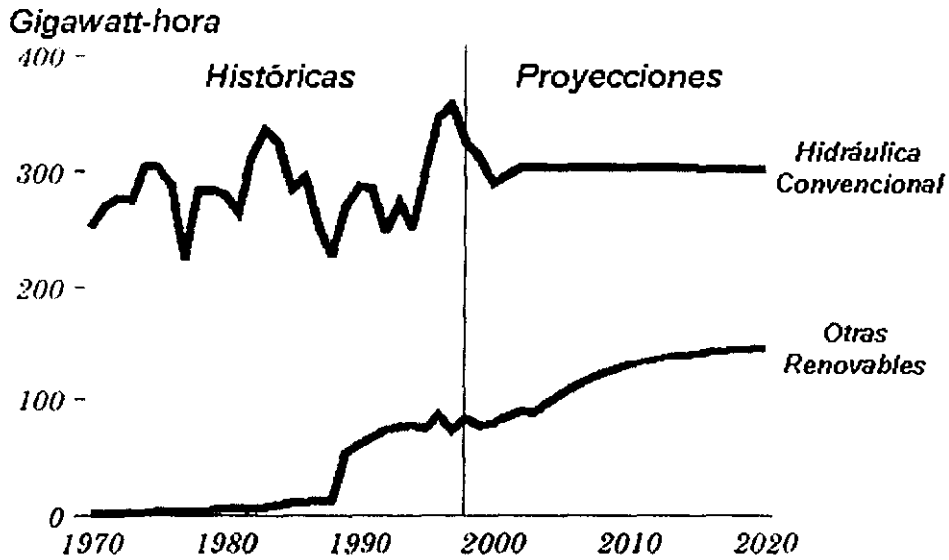
Se espera que con estos generadores produzcan energía eléctrica a un costo de \$0.15/kWh el cual podría llegar a bajar hasta \$0.05/kWh comparado con \$0.1-0.3/kWh producidos en aerogeneradores y \$0.9/kWh por medio de la energía solar.<sup>9</sup>

Desafortunadamente en México no se está haciendo nada al respecto teniéndose un gran potencial ya que la república Mexicana esta rodeada por grandes extensiones de agua, mientras que las potencias antes mencionadas están tratando de desarrollar tecnología para que países como México las adquieran.

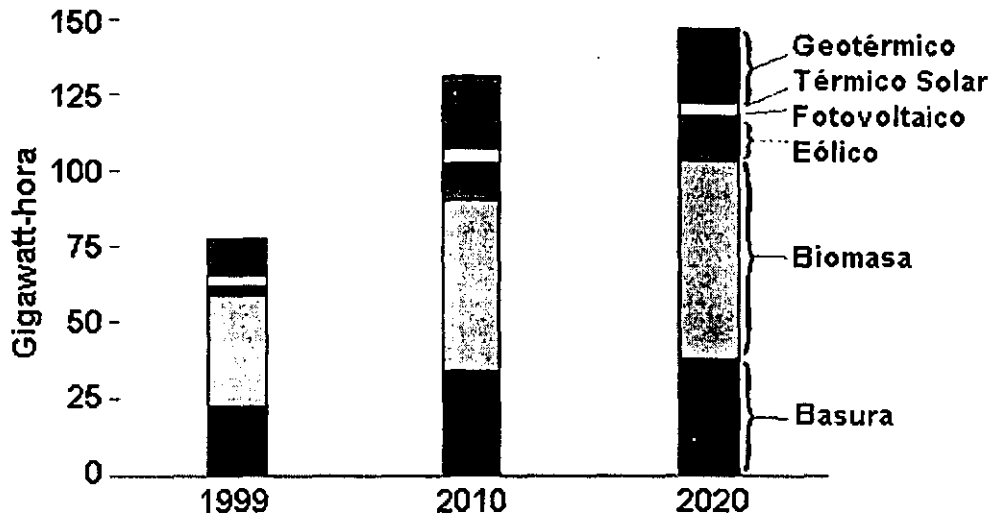
Es aquí donde se podrían generar fuentes de empleo en la fabricación de dichos generadores de energía.



#### 4.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE FUENTE.



Gráfica No. 4.4 Generación de electricidad de fuentes de energía renovables  
 Fuentes: Históricas: Energy Information Administration. Annual Energy Review 1999. DOE/EIA-0384(99)  
 (Washington, D.C., July 2000)



Gráfica No. 4.5 Proyección de fuentes de energía renovable para la producción de energía eléctrica excluyendo al sector hidroeléctrico, para el período 1999-2020.

Fuente: Energy Information Administration. Annual Energy Review 1999. (Washington, D.C., July 2000)

En el área donde pudiese modificarse el crecimiento para la generación de energía eléctrica es en el sector eólico ya que éste está teniendo un crecimiento muy notorio a nivel mundial.

## 4.7 ENERGÍA EÓLICA

### 4.7.1 Potencial Mundial.

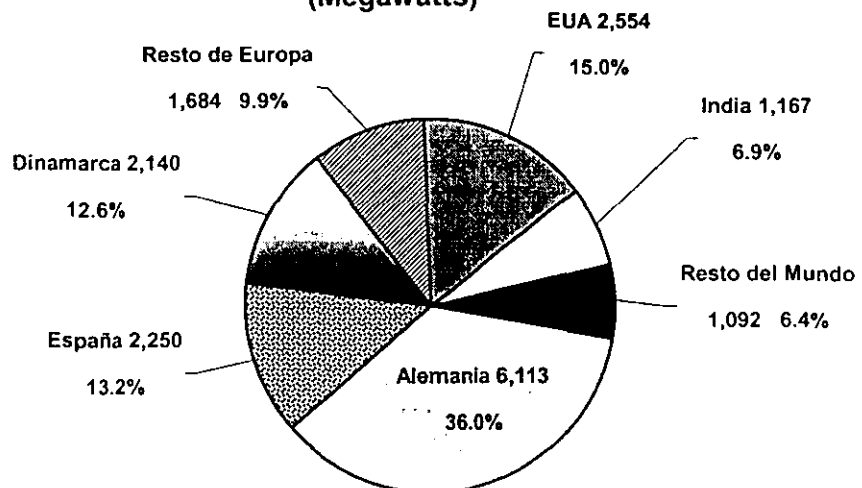
Una de las fuentes de energía renovables más vastas es la que se obtiene del viento, siendo además un recurso gratis, el cual **puede garantizar un precio estable**, además los tiempos de construcción de plantas de aerogeneradores es tan solo de unos cuantos meses: aproximadamente 1 año comparado con los 8 a 11 años requeridos para la construcción de una planta nuclear ó 6 a 10 años para una hidroeléctrica de 1,000 MW, aunque al parecer el tiempo de instalación tiende a reducirse ya que los Alemanes en el año 2000 instalaron 1668 MW eólicos.

En 1948 Pautman estimó, basándose en un cálculo de Brunt (1934) que la energía total de la atmósfera es de unos  $10^{14}$  MW. Suponiendo que se pudiera disponer de un diezmillonésimo de esta cantidad (Organización Meteorológica Mundial, 1954), entonces habría  $10^7$  termoeléctricas o nucleoeeléctricas con una capacidad cada una de 1,000 MW. Sin embargo, Von Arax (1974) señaló que el valor dado por Pautman corresponde a un recurso almacenado que no se puede explotar a una tasa mayor que la de regeneración, porque se excedería el flujo solar en la superficie, que es de  $10^6$  MW, y los vientos se originan principalmente por el calentamiento de la superficie. La estimación de Von Arx de "la energía eólica disponible  $10^6$  MW".<sup>10</sup>

Lo contradictorio es que en la actualidad, más del 90% de las fuentes de energía renovables dependen de las plantas hidroeléctricas, pero esto puede cambiar ya que con el efecto del niño y el efecto de invernadero, el sector hidroeléctrico es más vulnerable al sector eólico, pues en la actualidad se está presentando grandes sequías en muchas partes del mundo, en contraste con los enormes torrenciales presentados en otros lados.

### 4.7.2 Capacidad Mundial instalada.

**Gráfica No. 4.6 CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA DE AEROGENERADORES HASTA EL AÑO 2000 (Megawatts)**

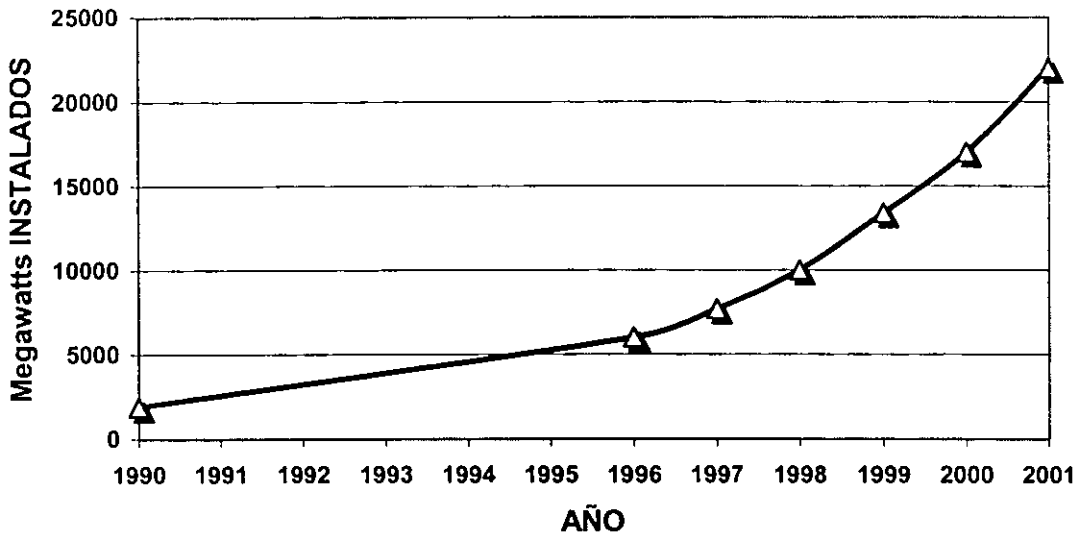


Fuente: Internet: <http://www.awea.org/faq/global2000.html> enero 30-2001; « Wind Energy Growth Was Steady in 2000»

<b>Tabla No. 4.4 Capacidad instalada de aerogeneradores para la producción de energía eléctrica a nivel mundial (Megawatts MW)</b>				
	1999	Fin del año 1999	2000	Fin del año 2000
<b>País</b>	<b>Adición a la capacidad instalada (MW)</b>	<b>Total Capacidad Instalada (MW)</b>	<b>Adición a la capacidad instalada (MW)</b>	<b>Total Capacidad Instalada (MW)</b>
Alemania	1,200	4,445	1,668	6,113
EUA	732	2,500	53	2,554
España	650	1,475	775	2,250
Dinamarca	300	1,740	400	2,140
India	62	1,077	90	1,167
Holanda	53	410	39	449
Italia	50	250	170	420
Reino Unido	18	338	62	400
China	76	265	--	265
Suecia	40	216	10	226
Grecia	--	--	189	189
Marruecos	--	--	50	50
Egipto	--	--	30	30
México*	--	2.1	--	2.1
Japón**	--	--	--	(40 MW para el 2001)
<b>Balance Total</b>	<b>3,181</b>	<b>12,718.1 (7,700 en 1997)</b>	<b>3,536</b>	<b>16,255.1</b>
<b>Balance Mundial (incluye otros países)</b>		<b>13,400</b>		<b>Aprox. 17,000</b>
<b>Balance Mundial se generaron 34TWh durante el año 2000 comparado con 3.8 TWh en 1990, lo cual implicó un crecimiento de 894% en 10 años</b>				
Fuente: Internet: <a href="http://www.awea.org/faq/global2000.html">http://www.awea.org/faq/global2000.html</a> enero 30-2001; « Wind Energy Growth Was Steady in 2000» y The American Wind Energy Association 1999.				
Notas: *Es la capacidad instalada en Guerrero Negro (600 kW) y la Ventosa (1.5 MW) con planes de ampliarla a 54 MW; **La capacidad instalada de Japón no se contempla en el balance del año 2000.				

Como puede verse hubo un incremento del 26.8% entre 1999 y el 2000 a nivel mundial.

**Gráfica No. 4.7 CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA DE AEROGENERADORES PARA EL PERÍODO 1990-2001**

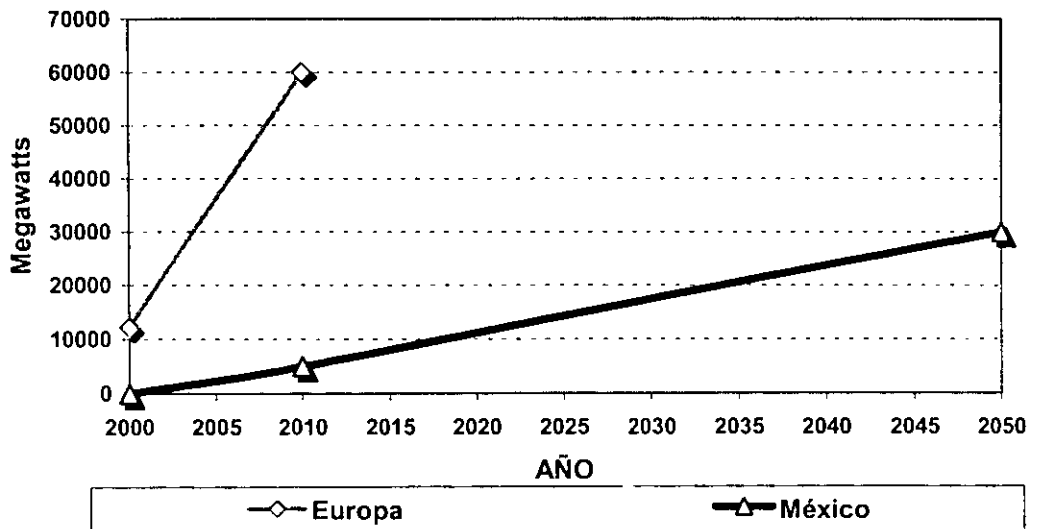


Fuente: Internet: <http://www.awca.org/faq/global2000.html> Wind Energy Growth Was Steady in 2000

Con la actual crisis petrolera, la meta en Europa para el 2010 es tener una capacidad total instalada de aproximadamente 60,000 MW lo que significaría un incremento del 492% en 10 años tan solo en Europa. Se espera que para el 2020 esta fuente de energía podría proveer el 10% en la demanda mundial con respecto a las demás fuentes de energía.

#### 4.7.3 Instalación Proyectada al 2010.

**Gráfica No. 4.8  
 INSTALACIÓN PROYECTADA DE AEROGENERADORES**

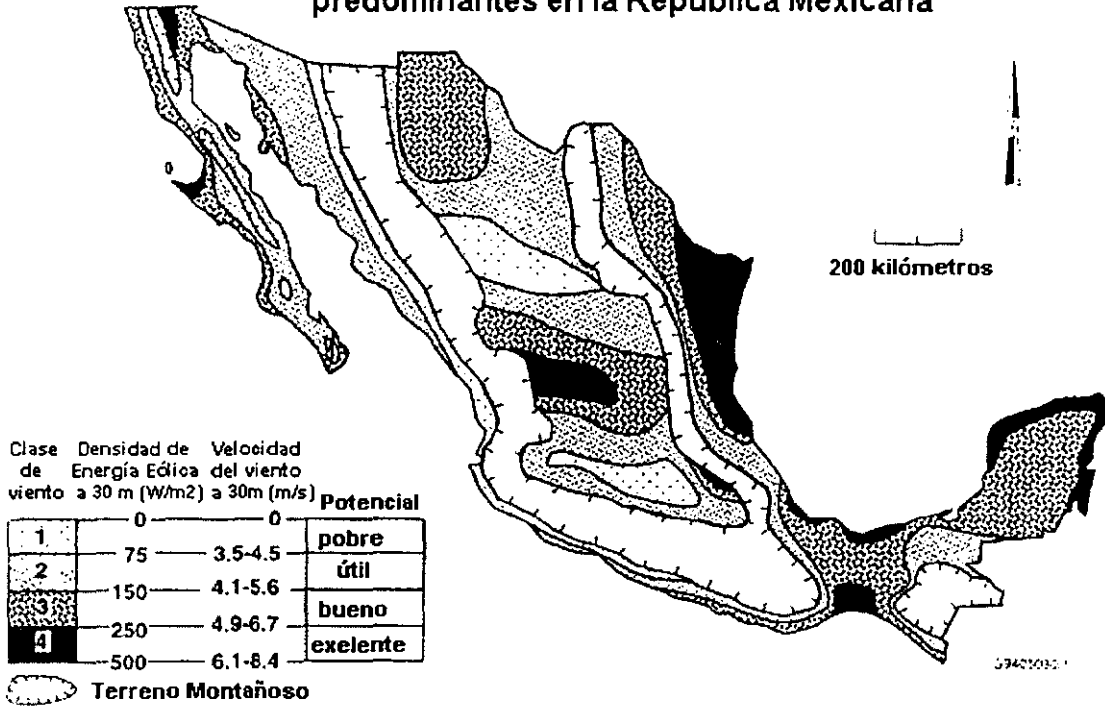


Fuentes: <http://www.awca.org/faq/global2000.html> Wind Energy Growth Was Steady 2000; <http://www.conac.gob/renovables/#Recurso>

Tan solo en 10 años, Europa tiene proyectados la instalación de casi cinco veces la capacidad actual (12,187MW). Mientras que en México solo se prevee la instalación de 5,000 MW para ese periodo y para mediados de siglo probablemente se llegue a los 30,000 MW eólicos (representa el 82.7% de la capacidad actual instalada de todo el sector energético), siempre y cuando se le de el impulso que requiere dicho sector.

**4.7.4 Potencial eólico en México.**

**Localización geográfica de los tipos de vientos predominantes en la República Mexicana**



Mapa No. 4.4

Fuente: Internet: <http://bergey.com/Maps/Mexico.Wind.htm>

Nota: La gráfica original está en inglés, además se modifico un poco el esquema.

- 1) **Sur del Istmo de Tehuantepec:** Esta región contiene un área del orden de 1000 km<sup>2</sup> con vientos muy intensos dado un fenómeno monzónico entre el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec. Podría similar una capacidad instalada del orden de los 2000-3000 MW con un factor de planta medio del 0.45 y en las zonas más propicias con un factor de planta del 0.6 anual y de 0.9 o más en el otoño e invierno.
- 2) **Península de Baja California:** Puede proporcionar muchos sitios con potencial explotable como el poblado de la Rumorosa y zonas alledañas, así como el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra de San Pedro Martir.
- 3) **Península de Yucatán:** Cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el oriente de Cozumel.

- 4) **Altiplano Norte:** Desde la región Central de Zacatecas a la frontera con EUA, el norte del país se ve influenciado por la corriente de chorro de octubre a marzo.
- 5) **Región Central:** Prevalecen vientos alisios de verano, desde Tlaxcala hasta Guanajuato así como en Pachuca. Estos vientos complementan estacionalmente, a los del altiplano norte y los del sur del Istmo de Tehuantepec.
- 6) **Las costas del país:** El extenso litoral mexicano y sus islas, presentan por lo menos condiciones para generación eléctrica en pequeña escala y almacenamiento en baterías, sistemas híbridos diesel-eólicos y en otros generación interconectada.

Para el año 2050 nuestro sistema eléctrico deberá alcanzar del orden de los 125,000 MW instalados, en esas condiciones, la energía eólica podrá contribuir con la generación eléctrica del orden de 30,000 MW instalados de aerogeneradores, un gran porcentaje de ellos produciendo hidrógeno para centrales turbogas.

México ha arrancado un energético programa de desarrollo de centrales eoloeléctricas que podría alcanzar la cifra de 5000 MW para el 2010, aún así para entonces, más de la mitad de la generación eléctrica en México, será a partir de combustibles fósiles, los cuales están sujetos a los precios internacionales.

#### **4.7.5 Ventajas**

- 1) Evitar la instalación de centrales termoeléctricas y por lo tanto su consumo de agua en el altiplano central para sus sistemas de enfriamiento y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- 2) No se tiene que pagar por combustible, sino por empleos, ya que el desarrollo de centrales eoloeléctricas es lo que más empleos genera dentro del sector energético tan solo en EUA según World Watch Institute ha calculado que **la energía eólica crea cinco veces más empleos por cada dólar invertido** con respecto a otras tecnologías convencionales, beneficiando también a las comunidades donde se asientan, ya que la utilización del suelo infiere marginalmente con los usos agrícolas o de pastoreo.

**En la actualidad se consumen más de 4 millones de metros cúbicos de agua de pozo por año en el Valle de México para el enfriamiento de las termoeléctricas, que es más necesaria para dotar servicios de agua potable al menos a 10,000 familias, por lo que de continuar con la carencia de una buena infraestructura que prevea de este vital líquido pronto nos estaremos enfrentando a un serio problema, no solo de carencia de agua sino también de energía a menos que se empiece a usar un nuevo fluido para los sistemas de enfriamiento que sean tan eficientes como el agua.**

Tabla No 4.5 Consumo de agua en Centrales Termoeléctricas en el año 2000, en km <sup>3</sup>					
Región	Generación media	Consumo de Agua Dulce			Índice
	(GWh/año) 1x10 <sup>6</sup> kWh/año	Subterránea	Superficial	Total en km <sup>3</sup> (Multiplique por 1000 para pasar a m <sup>3</sup> )	lts/kWh
Noroeste	23,187	0,005	0.000	0.005	0.215638
Norte	39,668	0.087	0,022	0.109	2.747807
Noreste	29,329	0.013	0.000	0.013	0.443247
Lerma - Balsas	28,880	0.026	0.000	0.026	0.900277
Valle de México	17,936	0.004	0.000	0.004	0.223015*
Sureste	8,496	0.010	0.000	0.010	1.177024
<b>Totales</b>	<b>147,496</b>	<b>0.145</b>	<b>0.022</b>	<b>0.167</b>	<b>1.132234</b>

Si se multiplica 147,496 (1x10<sup>6</sup> kWh/año) (1.132234 lts/kWh) = 167x10<sup>9</sup> lts/año = 167 millones de m<sup>3</sup>/año  
 Fuente: Internet: <http://www.conae.gob/renovables/#Recurso>  
 Nota: \*- No considera el uso de 0.057 km<sup>3</sup> de aguas residuales, lo que daría un índice de 3.4 lts/kWh, lo que indica enfriamiento con agua que corre.

La instalación de 5,000 MW eólicos para el año 2010 instalando a razón de 500MW por año, implicaría para el año 2011 una generación anual de 13,140 GWh de origen eólico, lo que evitaría por año, consumir 17.4 millones de metros cúbicos de agua y lanzar a la atmósfera 4.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, considerando desplazamiento de gas natural únicamente.

<b>Tabla No 4.6 Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por año y acumuladas al 2010 por Generación Eoloeléctrica masiva.</b>					
<b>AÑO</b>	<b>Capacidad final MW</b>	<b>Generación Eólica Anual (GWh)*</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado Anual (Millones de toneladas)</b>	<b>Generación Acumulada (TWh)</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado Acumulado (Millones de toneladas)</b>
2001	500	920	0.322	1.577	0.552
2002	1,000	1,971	0.69	3.548	1.242
2003	1,500	3,285	1.15	6.833	2.392
2004	2,000	4,599	1.61	11.432	4.002
2005	2,500	5,913	2.07	17.345	6.072
2006	3,000	7,227	2.53	24.572	8.602
2007	3,500	8,541	2.99	33.113	11.592
2008	4,000	9,855	3.45	42.968	15.042
2009	4,500	11,169	3.91	54.137	18.952
<b>2010</b>	<b>5,000</b>	<b>12,483</b>	<b>4.37</b>	<b>66.620</b>	<b>23.322</b>

Fuente: Internet: <http://www.conae.gob/renovables/#Recurso>  
 Nota: \* Aunque se considera una inclusión anual de 500 MW, para fines de generación de electricidad se cuentan 250 MW únicamente.

Si consideramos que para el 2010 más del 50% de la capacidad instalada seguirá siendo de Termoeléctricas, las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> por generación Eoloeléctrica habrán mitigado entre un sexto y un séptimo de las emisiones totales por generación termoeléctrica.



#### **4.7.6 Opción de inversión.**

La apertura del Sector Eléctrico a la participación privada, social, y paramunicipal a la generación eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración y pequeña producción independiente, permitirá efectivamente la inclusión masiva del aprovechamiento de fuentes renovables de energía, cuyo carácter difuso y de baja densidad, las hacen adecuadas para las explotaciones distribuidas, orientadas básicamente a la solución de problemas de abasto energético local. Sólo la masividad de estos aprovechamientos les puede dar sentido en términos de oferta nacional de energía, y en el caso particular de la energía eólica, sólo la masividad y dispersión de las Centrales Eoloeléctricas integradas al Sistema Nacional Interconectado, puede tener sentido en términos de aportación confiable de energía y capacidad al Sistema Eléctrico Nacional.

Por lo anterior, el escenario de penetración eoloeléctrica a considerar, es el único con racionalidad energética, técnica y económica: llevarla al menos, al 10% de la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional. Lograr esta penetración para el año 2010, requiere de un esfuerzo extraordinario, tanto industrial para la construcción de partes y componentes, como de exploración, caracterización y evaluación de sitios de explotación, y finalmente el proyecto, construcción y montaje de Centrales Eoloeléctricas a razón de 500 MW por año

#### **4.7.7 Recomendación.**

En vez de comprar las aeroturbinas en otros países, en México se debería desarrollar dicha tecnología, ó atraer a inversionistas y tecnología Europea (ya que llevan varias décadas perfeccionando todo tipo de aerogeneradores), para la instalación de plantas que provean los componentes necesarios para la construcción de dichos equipos.

Esto implicaría generar una gran gama de empleos, además de que la mano de obra es más barata que en Europa, de no hacerse países como China podría tomar dicho mercado.

## **4.8 ENERGÍA GEOTÉRMICA.**

### **4.8.1 Conceptos básicos.**

Los sistemas geotérmicos, se dividen en dos clases: sistema dominado por vapor y el sistema dominado por líquido ó agua.

**Sistemas dominados por vapor:** Produce vapor desde saturado hasta ligeramente sobrecalentado, a temperaturas de alrededor de 250°C y presiones entre 30-35 atmósferas, y el flujo puede variar desde unos cientos hasta 25,000 kilogramos / hora a profundidades que oscilan entre los 1,000 y 2,500 metros.

**Sistemas dominado por agua:** La presión del depósito tiene la característica de ser muy cercana a la presión hidrostática, o sea, alrededor de 0.1 atmósferas por metro de profundidad. Así a profundidades de entre 1,000 y 2,500 metros, las presiones son entre 100 y 250 atmósferas.

Pueden dividirse en:

- a) Fluido de elevada entalpía a más de 200 calorías / gramo. Las temperaturas de estos sistemas oscilan entre 200-388°C.
- b) Fluido de baja entalpía a menor contenido de calor, La temperatura varía desde 10°C sobre la temperatura anual promedio hasta la división arbitraria de 200°C.<sup>11</sup>

Esta división tiende a separar fluidos útiles para generación de energía eléctrica de aquellos más útiles para otros fines.

### **4.8.2 Potencial Mundial.**

Las reservas geotérmicas usando la tecnología actual tienen un potencial entre 35,448 y 72,392 MW o sea, entre casi 1 a 2 veces la capacidad instalada de energía eléctrica en México (36,268.5 MW ver capítulo III).

Las reservas mundiales se estiman que están entre 65,576 y 138,131 MW lo que representa que podría producirse 1,089 Billones de watt-hora (Terawatt-hora) anuales , asumiendo un factor de eficiencia de 90% que es común en dichas plantas.<sup>12</sup>

Esto quiere decir que el potencial equivaldría al 8.3% de lo que se produce actualmente en el ámbito mundial (aprox. 13,142 terawatt-hora) ó el equivalente al 50% de la capacidad nuclear solo que con la diferencia de que este es un recurso renovable si se tiene un buen manejo con los yacimientos.

Según estimaciones esto podría satisfacer a 865 millones de personas, o sea, un poco más del 14% de la población del total que supera los 6,000 millones de habitantes.<sup>13</sup>

**Tabla No. 4.7 Potencial de la energía Geotérmica por región**

<b>Región</b>	<b>Potencial Geotérmico Terawatt-hora (Billones de watt-hora)</b>	<b>Uso de Energía Eléctrica mediante todas las fuentes disponibles hasta el momento (Billones de watt-hora)</b>	<b>Potencial vs. Uso de la energía eléctrica % Energía Geotérmica</b>
Norteamérica	200	4,333	4.6%
Centro y Sudamérica	224	623	36.0%
Caribe	354	669	52.9%
Europa y ExURSS	97	4,155	2.3%
Asia del Pacífico	337	3,304	10%
África	101	357	28%
<b>Balance mundial</b>	<b>1,089</b>	<b>13,142</b>	<b>8.3%</b>

Fuente: Internet: <http://www.geotherm.org/PotentialReport.htm>. Karl Gawell, Dr. Marshall Reed, Dr. P. Michael Wright, Geothermal Energy Association.

**Tabla No. 4.8 Producción Mundial de energía Geotérmica**

<b>País</b>	<b>1990 (MW capacidad instalada)</b>	<b>1999 (MW capacidad instalada)</b>
EUA	2,775	2,850
Filipinas	8,91	1,848
Italia	545	769
México	700	753
Indonesia	145	590
Japón	215	530
Nueva Zelanda	283	345
Islandia	45	140
Costa Rica	0	120
El Salvador	95	105
Nicaragua	70	70
Kenia	45	45
China	19	32
Guatemala	0	29
Turquía	20	20.4
<b>Total de la capacidad instalada</b>	<b>5,867</b>	<b>8,246</b>
<b>Biliones de watt-hora* (TWh) anuales (1)</b>	<b>46.2</b>	<b>65.0</b>
<b>Potencial máximo a nivel mundial</b>	<b>138,131</b>	<b>138,131</b>
<b>Biliones de watt-hora* (TWh) anuales (2)</b>	<b>1,089</b>	<b>1,089</b>
<b>% explotado de (1) con respecto a (2)</b>	<b>4.24%</b>	<b>5.96%</b>

Fuente: Internet: <http://geothermalindia.hypermart.net/geoweb.htm>

Notas: \* La eficiencia tomada fué de 90%; La capacidad instalada aumentó en 40% en diez años.

Otros países con menos de 20 MW generados son: Argentina, Australia, Etiopía, Francia (Guadeloupe), Grecia, Portugal (Azores), Rusia, Tailandia (Congreso Mundial de Geotérmicas 2000).

Las reservas geotérmicas en 30 países son usadas directamente en procesos ó como medio de calefacción por su capacidad calorífica que llega a 12,000 MW. Estos países incluyen a: Alemania, Algeria, Austra, Bélgica, Bulgaria, China, Dinamarca, Filipinas, Francia, Eslovaquia, Georgia, Grecia, Hungría, Inglaterra, Islandia, Indonesia, Irlanda, Italia, Japón, Latvia, Nicaragua, Polonia, Portugal, Rumania, Rusia, Suiza, Suecia, Tailandia y Turquía.<sup>14</sup>

#### **4.8.3 Aspectos ambientales.**

Los impactos ambientales son similares a los de cualquier otra operación industrial. La construcción de caminos, la perforación de pozos y la instalación de ductos y plantas eléctricas contribuyen para modificar los patrones de uso de terreno para un sitio particular. Los efectos sobre el suelo varían, dependiendo del fluido y el empleo.

Las plantas geotérmicas tienen un impacto ambiental menor que otros tipos de plantas térmicas que producen electricidad, y que las plantas hidroeléctricas cuando se consideran los problemas causados por la construcción masiva. En el caso de la producción de energía térmica, todos los pasos del ciclo de combustible se localizan en el mismo lugar.

Otros tipos de plantas eléctricas térmicas requieren considerable apoyo industrial en forma de minas, servicios de transporte e instalaciones de procesamiento; de este modo que el impacto ambiental del ciclo de combustible de estas operaciones se extiende mucho más allá de las fronteras de la planta generadora de energía.

**En tipo vapor seco**, la única degradación ambiental continua ha sido la liberación del sulfuro de hidrógeno gaseoso. Sin embargo, al aumentar el tamaño y la cantidad de plantas, el problema es más importante.

Gran parte del problema del sulfuro de hidrógeno es que puede detectarse la presencia de cantidades incluso pequeñas, lo que hace más desagradable en cuanto a olor que el bióxido de azufre liberado por las plantas de carbón, aunque la cantidad real de azufre liberado por las plantas alimentadas en las plantas geotérmicas es menor.

Actualmente se está trabajando en sistemas de tratamientos de efluentes gaseosos ya que los compuestos sulfurados en la atmósfera contribuyen a un mayor efecto nocivo de la lluvia ácida impactando en primer lugar a los bosques.

El principal gas liberado en las plantas geotérmicas es el dióxido de carbono que es el principal causante del efecto de invernadero, aunque las cantidades liberadas son menores que cualquier otro tipo de planta termo ó carboeléctrica.

Las plantas geotérmicas tienen la ventaja de no emitir óxidos de nitrógeno, cenizas volátiles u otros aerosoles.

Algunas operaciones de rutina de los campos de vapor geotérmicos son extremadamente ruidosas. En la actualidad la principal fuente de ruido es intermitente y actúa sólo durante el período de prueba inicial, cuando se abre por primera vez un pozo para limpiarlo de rocas y otros desechos de perforación.

Los estallidos también son muy ruidosos pero ocurren con poca frecuencia.

Los **campos geotérmicos de agua caliente** presentan problemas de distinta naturaleza. Toma de 45-70 kilos de agua caliente (a diferencia de 7-9 kilos necesarias de vapor) para producir un kilowatt-hora de electricidad. El manejo y eliminación de estas grandes cantidades de agua por unidad de potencia son la causa de la mayoría de los problemas de las plantas geotérmicas de agua caliente.

Las aguas termales llevan disueltos sólidos en proporciones que varían de algunos cientos a miles de partes por millón. La presencia de estas sustancias disueltas normalmente impide la posibilidad de mezclar las aguas geotérmicas con otras aguas superficiales.

Una ventaja en las plantas geotérmicas es que no se requieren una fuente suplementaria de agua de enfriamiento cuando emplean vapor natural. El vapor después de pasar por la turbina, se condensa se envía por los tubos de las torres de enfriamiento y se recircula hacia el condensado para enfriarlo.

## 4.9 ENERGÍA SOLAR.

### 4.9.1 Sistemas fotovoltaicos.

**Celda fotovoltaica, fotocelda ó batería solar:** Tipo de semiconductor en el que la absorción de la energía lumínica crea una separación de cargas eléctricas. La separación crea un potencial eléctrico. El efecto neto es el de convertir directamente la energía de la luz, especialmente la energía solar, en electricidad. Los materiales usados típicamente en la construcción de las celdas fotovoltaicas son el silicio, el sulfuro de cadmio y el arseniuro de galio.

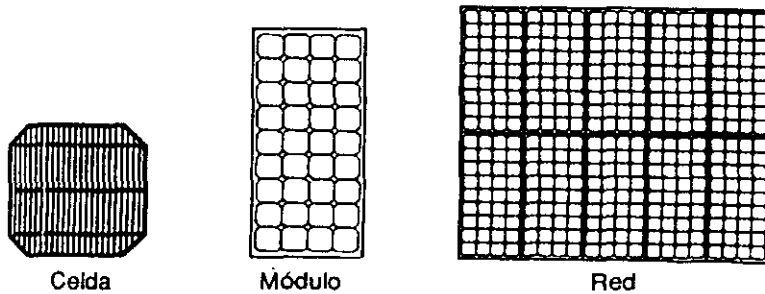


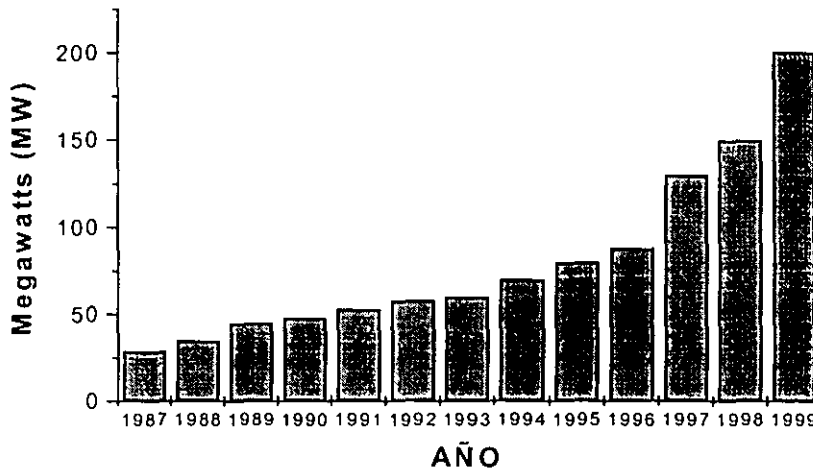
Figura No. 4.4

Fuente: Laboratorio Nacional de Energía Renovable (Estados Unidos)

### 4.9.1 Potencial Mundial de la energía solar y Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos.

La energía transmitida desde el sol bajo la forma de radiación electromagnética a la tierra es de aproximadamente la mitad de una milmillonésima ( $5 \times 10^{-10}$ ) de la producción total de energía del Sol, esta cantidad se eleva a 435 billones de kilowatt-hora anualmente ( $435 \text{ Exawatt-hora} = 435 \times 10^{18} \text{ watt-hora}$ )

## CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA DE FOTOCELDAS 1999



Gráfica No. 4.5

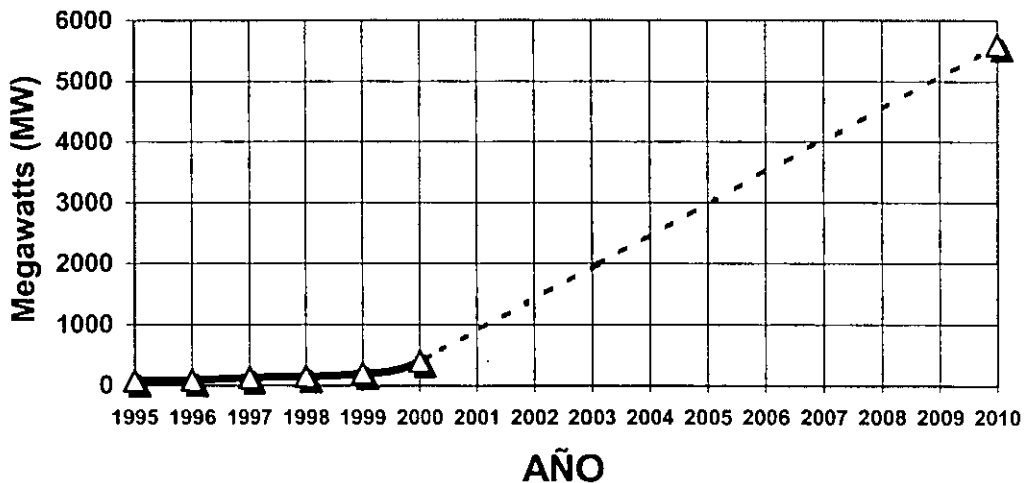
Fuentes: Internet: [http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/pv/pv\\_industry.html](http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/pv/pv_industry.html) de «The Australian Renewable Energy Website» y [http://www.eia.doc.gov/cneal/solar\\_renewables/rea\\_issues/solar.html](http://www.eia.doc.gov/cneal/solar_renewables/rea_issues/solar.html) 1993 -1999 datos revisado por: Paul Maycock, PV News, Vol. 19, No. 3 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., Mayo 2000). 1992 datos de: P. Maycock, PV News, Vol. 18, No. 2 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., February 1999)

Para entender un poco más la gráfica anterior, los 201 MW instalados en 1999 equivaldrían a 402 aeroturbinas de 2 MW cada una con una eficiencia del 50% ó una planta termoeléctrica de 603 MW con una eficiencia del 33% para la generación de energía eléctrica.

Estos sistemas han sido adquiridos para proveer energía para el calentamiento de agua para albercas e iluminación en casas residenciales, así como para teléfonos de emergencia situados en carreteras ya que introducir cableado a través de estas sería muy costoso, así como en relojes, calculadoras y en los satélites; Actualmente se está usando en lugares remotos ya que mantienen su confiabilidad en todo tipo de clima, desde áridos desiertos hasta las congeladas regiones del Artico para bombear agua, iluminación y potencia, para la refrigeración de vacunas, clínicas médicas rurales y sistemas de comunicación. Tan solo la guardia costera de EUA quien posee el mayor número de sistemas fotovoltaicos en 1995 tenía instalado 10,525.<sup>15</sup>

El Hospital Bulpe de Zaire fue la primera instalación médica mundial totalmente manejada con energía solar. Allí 20 edificios reciben energía de 20 módulos fotovoltaicos, incluyendo una sala de operaciones.<sup>16</sup>

**Gráfica No. 4.6 CAPACIDAD INSTALADA DE FOTOCELIDAS EN JAPÓN Y EUROPA PARA EL AÑO 2010**



Fuentes: Internet: [http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/pv/pv\\_industry.html](http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/pv/pv_industry.html) de «The Australian Renewable Energy Website» y [http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar\\_renewables/rea\\_issues/solar.html](http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar_renewables/rea_issues/solar.html) 1993 -1999 datos revisados por: Paul Maycock, PV News, Vol. 19, No. 3 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., March 2000). 1992 datos de: P. Maycock, PV News, Vol. 18, No. 2 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., February 1999)

Notas: Las proyecciones para el 2010 en Europa son la instalación de 1,000 MW y para Japón de 4,600 MW; Mientras en EUA no se contempla en la gráfica, pero el expresidente de los Estados Unidos William Clinton en 1997 anunció un programa ambicioso para la inatallación de paneles solares en más de un millón de azoteas para el 2010 en ese país.

Los 5,600 MW (en un año equivaldría a 40,296 gigawatt-hora) esperados generar a partir de páneces solares en Europa y Japón significarán un ahorro de casi 73.8 millones de barriles de petróleo en ese año cifra que corresponde casi con la producción mundial en un solo día en el año 2000. Esto tomando en cuenta que 7.33 millones de barriles de petróleo son quemados en plantas modernas que generan con esa cantidad 4,000 gigawatts-hora.

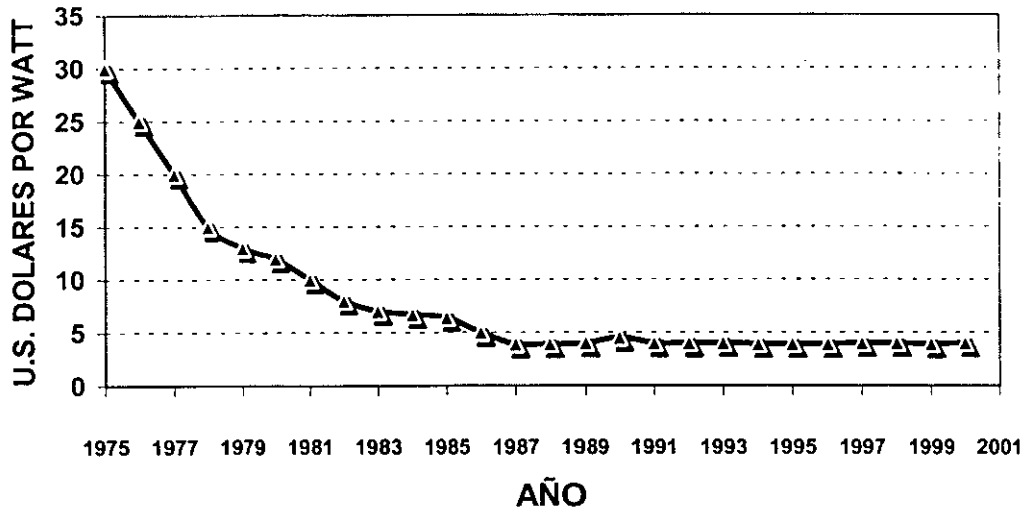


Esta cifra podría ser mucho mayor si se anexa el consumo de fotoceldas en EUA así como en el resto del mundo.

Durante los próximos 10 años la adquisición de paneles solares experimentará un crecimiento bastante notorio el cual hasta 1994 empezó a destacar debido a varios factores como son: una mejor eficiencia la cual actualmente alcanza el 24% y se esperan aún mejoras; El costo, el cual ha disminuido si se compara con los costos de 1975 así como el aumento en el precio del crudo, el cual ha orillado en muchos países a la utilización de tecnologías que más favorezcan a sus necesidades y por último los aspectos ambientales ya que en muchos países, principalmente Europeos las nuevas leyes son cada vez más severas para quien atente contra la ecología.

**4.9.2 Precios y eficiencias de los paneles solares.**

**Gráfica No. 4.7 PRECIOS DE PANELES SOLARES POR WATT PARA EL PERÍODO 1975-2000**

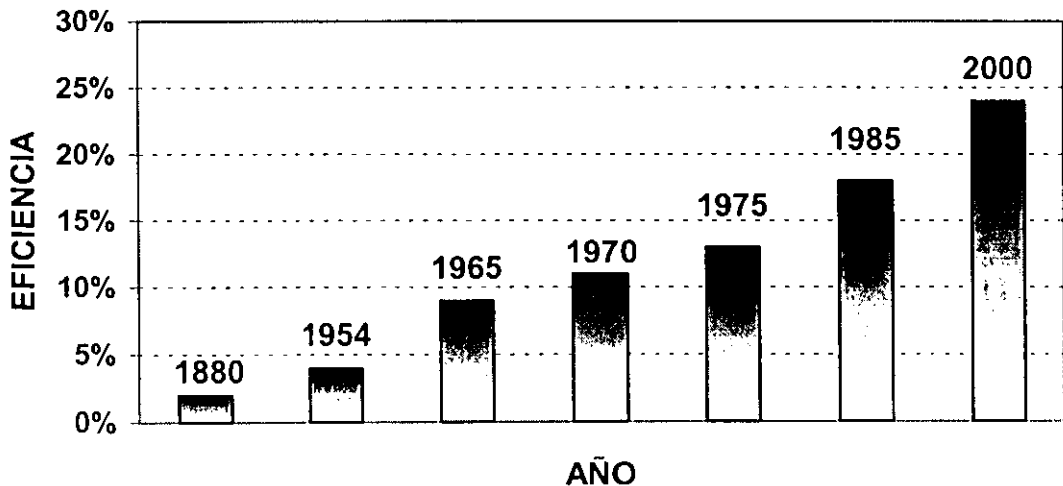


Fuente: Internet: [http://www.cia.doc.gov/cneaf/solar\\_renewables/rea\\_issues/solar.html](http://www.cia.doc.gov/cneaf/solar_renewables/rea_issues/solar.html) P. Maycock, The World Photovoltaic Market 1975-1998 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., August 1999)

El costo de las celdas ha ido disminuyendo considerablemente ya que en la década de los sesentas el costo oscilaba entre los \$200-600 dólares por watt y para 1975 entre \$100-200 dólares por watt.

Lo que hace interesante es que, mientras la tendencia va a la baja en los costos las eficiencias van en incremento tal como se muestra en la siguiente gráfica.

**Gráfica No. 4.9 EFICIENCIA DE LA FOTOCELDA PARA EL PERÍODO 1880-2000**

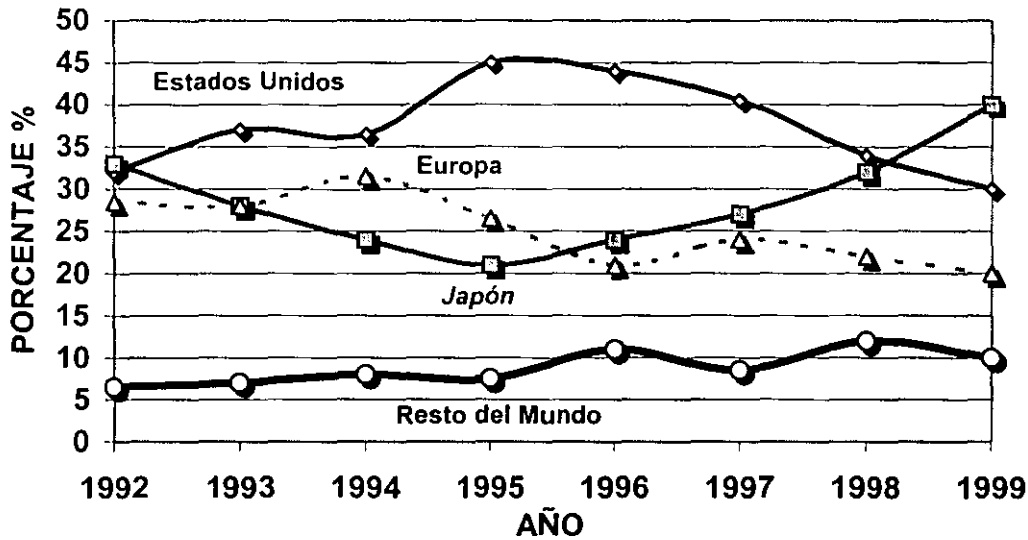


Fuente: Cortesía de «The Coming Age of Solar Energy, D. S. Halacy, Harper and Row, Nueva York, NY10022; y del Internet [http://www.pv.unsw.edu.au/eff/eff\\_tab1.html](http://www.pv.unsw.edu.au/eff/eff_tab1.html)

Nota: Las eficiencias corresponden a fotoceldas hechas con materiales comerciales principalmente de silicio; Durante la década de los noventa se alcanzaron eficiencias de un poco más del 30% pero se trata de aleaciones como GaInP/GaAs, Desgraciadamente el Galio es altamente tóxico y no es tan abundante como el silicio.

4.9.3 Producción Mundial de Foceldas.

**Gráfica No.4.10 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FOTOCELIDAS  
 PARA EL PERÍODO 1992-1999**



Fuente: 1993-1999 datos revisados por: P. Maycock, PV News, Vol. 19, No. 3 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., March 2000).  
 1992 datos revisados por: P. Maycock, PV News, Vol. 18, No. 2 (Warrenton, VA: PV Energy Systems, Inc., February 1999)

Compañía (País)	1994	1995	1996	1997	1998	1999
ASE (Alemania)	2.4	1.7	--	2.0	3.0	7.0
ASE (EUA)	0.6	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0
Astropower (EUA)	1.7	2.5	2.85	4.3	7.0	12.0
BP Solar (Australia)	--	--	--	--	5.1	5.5
BP Solar (India)	--	--	--	--	3.8	4.0
BP Solar (Reino Unido)	6.1	7.2	8.45	11.3	4.5	5.0
Isophoton (España)	1.5	1.5	1.5	2.7	4.2	8.1
Kyocera (Japón)	5.5	6.1	9.1	15.4	24.5	30.3
Photowatt (Francia)	1.8	2.05	2.5	5.7	12.0	10.0
Sanyo (Japón)	5.5	5.1	4.6	4.7	6.3	13.0
Sharp (Japón)	2.0	4.0	5.0	10.6	14.0	30.0
Siemens (Alemania)	0.5	0.2	0.05	0	0	2.0
Siemens (EUA)	13.0	17.0	17.0	22.0	20.0	22.2
Solarex (EUA)	7.5	9.5	10.8	14.8	15.9	18.0
Otras Compañías	21.3	18.8	23.8	28.3	30.6	30.2
<b>Balance Mundial</b>	<b>69.4</b>	<b>77.6</b>	<b>88.6</b>	<b>125.8</b>	<b>154.9</b>	<b>201.3</b>

Fuentes: P. Maycock, PV News, Vol. 19, No. 3. (March 2000) para compañías de Francia, Alemania, España, Reino Unido, Estados Unidos y Balance Mundial. P. Maycock, PV News, Vol. 19, No. 2 (February 2000) para compañías de Australia, India, y Japan.

**4.9.4 Irradiación solar media en la República Mexicana.**

Tabla No. 4.10 Irradiación solar media en la República Mexicana, datos en kWh/m <sup>2</sup> -día																
Estado	Ciudad	Núm.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max
Sonora	Hermosillo	1	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	3.9	8.6
Sonora	Guaymas	2	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3
Chihuahua	Chihuahua	3	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	3.8	8.2
Coahuila	Piedras Negras	4	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7
Coahuila	Saltillo	5	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9
Nuevo León	Monterrey	6	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1
San Luis Potosí	Río Verde	7	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8
San Luis Potosí	San Luis Potosí	8	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4
Zacatecas	Zacatecas(la bufa)	9	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8
Campeche	Campeche	10	4.0	4.1	5.5	5.8	5.5	4.9	4.9	5.1	4.7	4.4	4.2	3.7	3.7	5.8
Guanajuato	Guanajuato	11	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6
Colima	Colima	12	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0
Colima	Manzanillo*	13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Aguascalientes	Aguascalientes	14	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2
Guerrero	Chilpancingo	15	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2

*El dilema de la energía*  
 Capítulo IV Fuentes de energía renovables "Energía Solar fFtovoltaica"

errero	Acapulco	16	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
arrit	Tepic	17	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
acruz	Tuxpan	18	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.4	4.7	5.5	4.4	4.1	3.4	3.1	3.1	5.5	4.2
acruz	Córdoba	19	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
acruz	Orizaba	20	3.3	3.5	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.1	3.1	4.9	4.0
acruz	Jalapa	21	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	3.0	5.0	4.0
acruz	Veracruz	22	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
apas	Comitán	23	4.1	4.4	4.8	4.9	5.1	4.8	5.5	5.5	4.8	4.0	4.0	3.7	3.7	5.5	4.6
apas	Arriaga	24	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
apas	Tuxtla Gutiérrez	25	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
apas	San Cristóbal	26	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
apas	Tapachula	27	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
ntana Roo	Chetumal	28	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
ntana Roo	Cozumel	29	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7
aca	Salina Cruz	30	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
aca	Oaxaca	31	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
sco	Colotlán	32	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
sco	Lagos de Moreno	33	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
sco	Guadalajara	34	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
ango	Durango	35	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
aulipas	Soto la Marina	36	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4	4.6
aulipas	Tampico	37	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4	4.5
atán	Progreso	38	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.0	5.5	4.9
atán	Valladolid	39	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7	4.5
atán	Mérida	40	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
a California	La Paz	41	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
a California	San Javier	42	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
a California	Mexicali	43	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
loa	Mazatlan	44	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
loa	Culiacán	45	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2	4.9
rétaro	Querétaro	46	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	6.9	5.9
	Tacubaya	47	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	3.8	5.8	4.9
ico	Toluca	48	4.4	4.9	5.3	5.4	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9	3.9	5.4	4.8
ico	Chapingo	49	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1
cala	Tlaxcala	50	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	4.0	5.6	5.1
ola	Puebla	51	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
lgo	Pachuca	52	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8	5.4
oacán	Morelia	53	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
	Mínimo		3.1	3.3	3.1	3.8	4.1	4.4	4.5	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.5	3.7
	Máximo		5.4	6.3	6.6	7.5	8.3	8.6	7.0	6.6	6.7	6.0	5.7	5.6	5.4	8.6	6.7
	Promedio		4.1	4.7	5.3	5.7	5.9	5.6	5.6	5.5	5.1	4.7	4.3	3.8	3.8	5.9	5.0

Fuente: <http://www.conae.gob.mx/renovables/radiacionsolar.html> Comisión Nacional para el ahorro de Energía

#### **4.9.5 Impacto ambiental.**

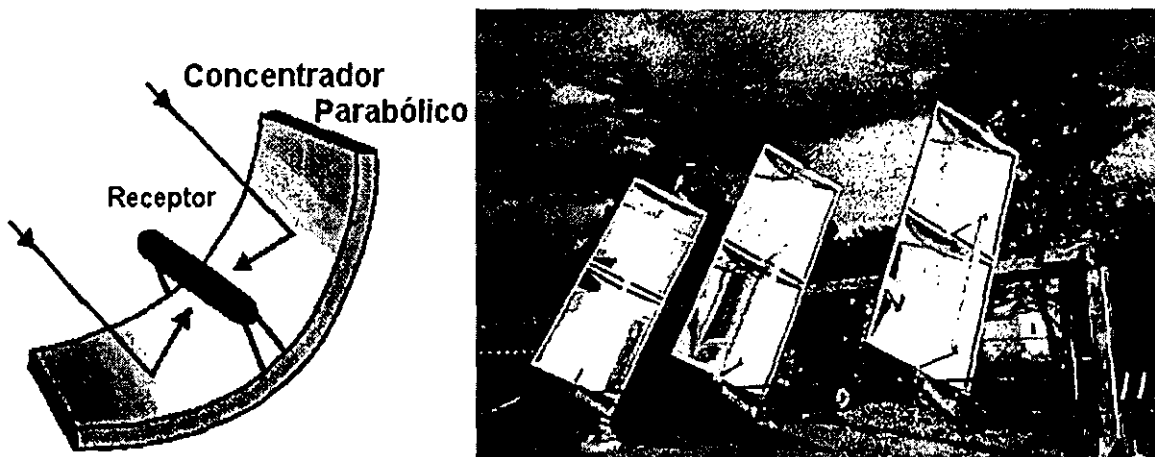
Para satisfacer las necesidades eléctricas de un pueblo se requerirá de espacios muy grandes para la instalación de módulos solares, principalmente en los desiertos;

Muchas veces al decir desierto nos imaginamos un lugar sin vida, y eso no es verdad ya que ahí también existe un ecosistema y al modificar la temperatura de la zona se podrían tener un impacto en el equilibrio ecológico ya que para obtener 1,000 MW de una central termoeléctrica ó nuclear se necesita un espacio superior a 2,000 hectáreas, si tomamos en cuenta que las celdas son de color oscuro, esto sería como barnizar una gran superficie provocando un aumento en la temperatura de la zona o visto desde arriba, sería como tener un gran comal que estaría absorbiendo tal cantidad de calor mediante los rayos del sol, aumentando la temperatura en 2 ó más grados centígrados en la zona.

Pero si se usan en azoteas, para empezar se estaría aprovechando mejor el terreno, además, el espacio que existe entre casa y casa así sería el suficiente para que el aire actuara como refrigerante en el clima, mientras que en el caso anterior, al estar todos los módulos instalados en una sola zona, en un espacio específico, el aire no podría actuar tan efectivamente para regular la temperatura de la zona.

#### **4.9.10 COLECTORES DE ALTA TEMPERATURA.**

Actualmente existen diversos colectores de alta temperatura algunos de estos son:

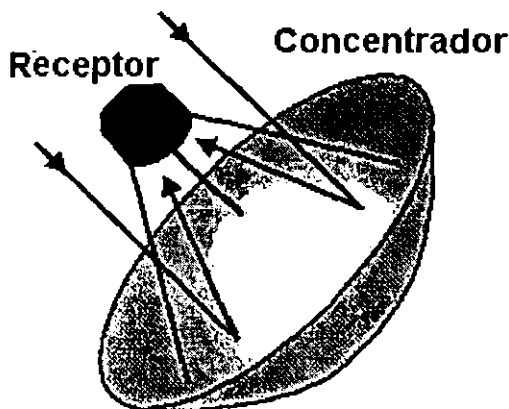


**Figura No. 4.5 Concentrador Parabólico**

Fuente: <http://www.eren.doc.gov/>

Este sistema es un espejo en forma de U que concentra la luz del sol dentro de receptor lineal, generalmente un vidrio al vacío o tubo metálico que corre a lo largo del punto focal del canal. Generalmente se instalan a lo largo y en serie. Los tubos se llenan con aceite o agua que alcanzan temperaturas superiores a los 340°C, actualmente existen plantas en Australia y California donde se producen más de 354 MWe.

Algunas ventajas para los inversionistas podrían ser: requieren menos agua que una termoeléctrica ó una nucleoelectrica, no generan emisiones ni desperdicios; los tiempos de construcción son cortos en un plazo de nueve meses, si comparamos con los 6-12 años de las plantas convencionales. Posiblemente este tipo de plantas pudieran instalarse en algunas regiones del norte del país ó en lugares donde se asegure pocos nublados en el año.



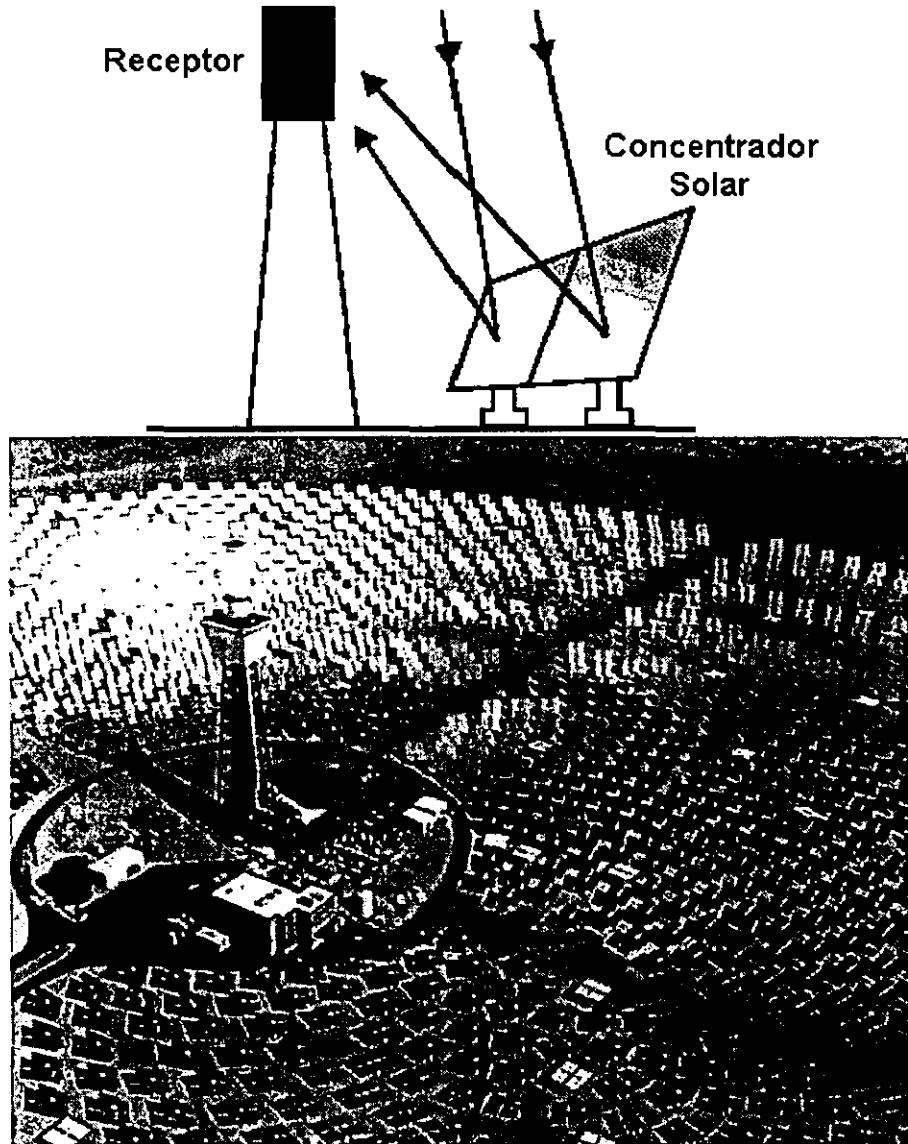
**Figura No. 4.6 Antena Parabólica (ó colectores de foco crítico)**

Fuente: <http://www.eren.doc.gov/>

La energía solar se concentra en un receptor localizado en el punto focal al frente de la antena.

Estos colectores ofrecen una concentración más elevada de la energía del sol y por lo tanto producen altas temperaturas que llegan a alcanzar un poco más de 2,000°C. Las altas temperaturas alcanzadas por esta tecnología los hacen particularmente adecuada para la generación de electricidad.

Una ventaja de este sistema es que el diseño por computadora le permite que el colector se enfoque directamente en los rayos solares alcanzado una eficiencia del 31%.



**Figura No. 4.7 Receptor Central**

Fuente: <http://www.cren.doc.gov/> cortesía de NREL's Photographic Information Exchange

Este sistema usa muchos espejos grandes llamados heliostatos, que concentran la luz solar en un receptor localizado en una torre. Este receptor retiene un líquido transmisor de calor que circula por todo su interior; el que puede calentarse a temperaturas que van desde los 537°C a los 1,480°C el cual puede usarse para encender una turbina y generar electricidad, actualmente este tipo de tecnología todavía está a prueba.



Este tipo de sistema también es controlado por computadora ya que de esta manera le permite seguir al sol de manera constante.

Una desventaja que presentan los sistemas solares es que durante las horas que no perciben la energía del sol de una manera considerable, estos sistemas no funcionan. Por lo que de día podrían suplir gran parte del trabajo de las plantas convencionales o almacenar energía, ya sea suministrando energía a unas bombas, que suban el agua hasta una presa ó para producir hidrógeno combustible mediante electrólisis del agua.

#### **4.10 BIOMASA.**

La energía de la biomasa es aquella que se obtiene de la vegetación, cultivos acuáticos, residuos forestales y agrícolas, urbanos, desechos animales, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, etc. Genéricamente las fuentes de biomasa se pueden clasificar como primarias (recursos forestales) y secundarias (básicamente los residuos como aserrín, residuos de las hojas de árboles, los agrícolas, pajas rastrojos y los urbanos) a continuación se da una clasificación un poco más detallada.

- Residuos forestales procedentes de diversos tratamientos selvícolas, como entresacas, podas o limpieza de matorrales.
- Residuos agrícolas de diferentes podas de cultivos leñosos como olivos, vides y frutales. También residuos de cultivos de cereales como el centeno, maíz, trigo, sorgo o arroz e incluso se utilizan los residuos de otros cultivos herbáceos como el tabaco, remolacha, algodón y girasol.
- Residuos de industrias forestales, procedentes en su mayoría de industrias de tratamiento de madera, chapa de madera, corcho o papel.
- Residuos biodegradables de industrias agroganaderas y agroalimentarias y también los procedentes de actividad urbana.
- Cultivos energéticos y biocarburentes.

##### **4.10.1 Potencial y Consumo Mundial.**

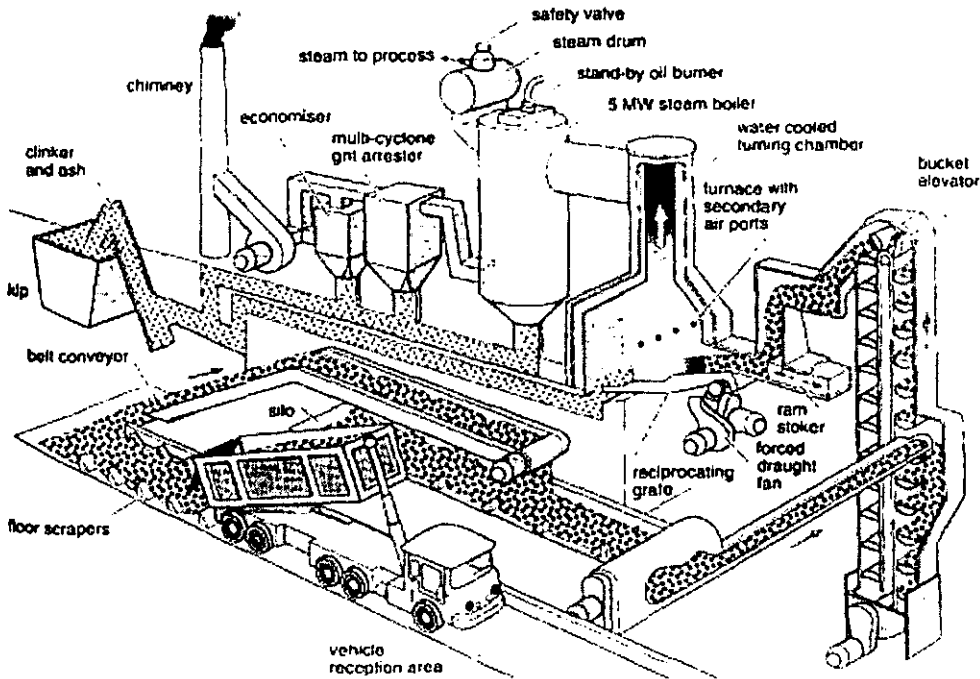
Actualmente la biomasa está contenida 99% en tierra de la cual 80% representan todo tipo de árboles, esta inmensa reserva equivale al consumo mundial de energía del año 2000 (1.25 billones de toneladas métricas de materia de planta seca que contiene 560 mil millones de toneladas de carbón).<sup>17</sup>

Estados Unidos que es el consumidor más importante de energía, contiene entre 65-90 mil millones de toneladas métricas de planta seca la cual representa entre el 5.2-7.2% en el ámbito mundial (30-40 mil millones de toneladas de carbón) equivalente al consumo de energía en un lapso de 14-19 años.<sup>18</sup>

En la actualidad cada año se cosecha cerca de 130 mil millones de toneladas de biomasa en la tierra (60 mil millones de toneladas de carbón) y se tienen estimadas 100 mil millones de toneladas en ríos, lagos y océanos que representan 46 mil millones de toneladas de carbón. La energía contenida en la biomasa producida anualmente, se estima que es más de 6 veces la energía usada mundialmente equivaliendo a 2,640 exajoules (2.5 exaBtu) tan solo en tierra y adicionalmente 2,024 exajoules (1.91 exaBtu) contenidos en las aguas. La energía de la Biomasa usada mundialmente ha sido estimada en cerca de 55 exajoules por año o cerca del 2% de la producción de biomasa en tierra.<sup>19</sup>

La biomasa es la cuarta fuente de energía que abunda en la tierra después del carbón, petróleo y gas representando el 14% de la energía primaria. Actualmente en países como EUA la biomasa provee cerca del 3-4% de la energía primaria, usándose para calentar (en hornos y chimeneas caseras y en algunos procesos industriales). En donde tiene más uso es en los países en vías de desarrollo especialmente para cocinar; otro gran uso es como combustible para el transporte ya que mediante el proceso de fermentación proveniente de maíz, caña de azúcar entre otros se obtiene etanol, el cual en muchos países se le agrega a la gasolina en una relación de 15%.<sup>20</sup>

Actualmente la capacidad instalada para la generación de electricidad a nivel mundial producida a partir de la biomasa es de cerca de 35,000 MW lo cual equivale casi a la capacidad total instalada en México durante el 2000 (36,268 MW); de ésta, cerca de 7,000 MW están instalados en EUA (20%) que aprovechan los residuos ó bagazo de la agricultura y derivados de productos forestales además, 2,500 MW del quemado de desechos municipales que contienen sólidos que a menudo no son contados como parte de la energía de la biomasa y 500 MW de la gasificación de rellenos sanitarios.<sup>21</sup>



**Figura No. 4.5 Generación de Energía eléctrica a partir de basura.**

Fuente: Internet: <http://www.renewable.greenhouse.gov.au/technologies/> de The Australian Renewable energy (Copyright G. Boyle, 1998)

Las plantas más grandes del mundo producen 600 MW térmicos con una eficiencia menor a 65% pero las restricciones termodinámicas hacen que baje a menos del 25% para producir energía eléctrica, si la comparamos con el 33% de las termoeléctricas, pero mediante un proceso de gasificación de la biomasa en ciclos combinados la eficiencia podría incrementarse hasta un 60%, actualmente se han alcanzado eficiencias del 45% en promedio

**Bioetanol (o bioalcohol):** Alcohol producido por fermentación de productos azucarados (remolacha y la caña de azúcar). También puede obtenerse de los granos de cereales (trigo, la cebada y el maíz), previa hidrólisis o transformación en azúcares fermentables del almidón contenido en ellos. Pueden utilizarse en su obtención otras materias primas menos conocidas como el sorgo dulce y la patata.

El bioetanol se utiliza en vehículos como sustitutivo de la gasolina, bien como único combustible o en mezclas que, por razones de miscibilidad entre ambos productos, no deben sobrepasar el 5-10% en volumen de etanol en climas fríos y templados, pudiendo llegar a un 20% en zonas más cálidas. El empleo del etanol como único combustible debe realizarse en motores específicamente diseñados para el biocombustible. Sin embargo, el uso de mezclas no requiere cambios significativos en los vehículos, si bien, en estos casos el alcohol debe ser deshidratado a fin de eliminar los efectos indeseables sobre la mezcla producidos por el agua. Un biocarburante derivado del bioetanol es el ETBE (etil ter-butil eter) que se obtiene por síntesis del bioetanol con el isobutileno, subproducto de la destilación del petróleo. El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol y, como el etanol, se agrega a la gasolina en proporciones del 10-15%. La adición de ETBE o etanol sirve para aumentar el índice de octano de la gasolina, evitando la adición de sales de plomo. También se utilizan ambos productos como sustitutos del MTBE (metil ter-butil eter) de origen fósil, que en la actualidad se está empleando como aditivo de la gasolina sin plomo.

**Biodiesel:** También denominado biogasóleo o diester, constituye un grupo de biocarburantes que se obtienen a partir de aceites vegetales como soja, colza y girasol (dos principales cultivos de oleaginosas en la Unión Europea). Los biodiesel son metilesteres de los aceites vegetales obtenidos por reacción de los mismos con metanol, mediante reacción de transesterificación, que produce glicerina como producto secundario. Los metilesteres de los aceites vegetales poseen muchas características físicas y físico-químicas muy parecidas al gasóleo con el que pueden mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diesel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor. Sin embargo, cuando se emplean mezclas de biodiesel en proporciones superiores al 5% es preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros de materiales como el vitón, debido a que el biodiesel ataca a los primeros. A diferencia del etanol, las mezclas con biodiesel no modifican muy significativamente gran parte de las propiedades físicas y físicoquímicas del gasóleo, tales como su poder calorífico o el índice de cetano.

#### **4.10.2 Ventajas.**

- 1) **Disminuir de forma notable las principales emisiones** de los vehículos, como son el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles, en el caso de los motores de gasolina, y las partículas, en el de los motores diesel.
- 2) La producción de biocarburantes supone una **alternativa de uso del suelo** que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que, por razones de mercado, están siendo abandonadas por los agricultores.

El consumo mundial de biocarburantes se cifra en torno a 170 millones de toneladas anuales que es equivalente a 134 millones de metros cúbicos, 1,322,141 furgones tipo tanque de 26,800 galones de capacidad cada uno ó aproximadamente 830 millones de barriles de petróleo que representa la producción mundial durante casi 12 días, correspondiendo la práctica totalidad de la producción y consumo al **bioetanol**.

Brasil, con alrededor de 90 millones de toneladas (71 millones de metros cúbicos) anuales y Estados Unidos, con una producción estimada para este año de casi 50 millones de toneladas (39.45 millones de metros cúbicos), son los países más importantes en la producción y uso de biocarburantes. En Brasil el etanol se obtiene principalmente de la caña de azúcar y su utilización se realiza principalmente en mezclas al 20% con la gasolina. En Estados Unidos el etanol se produce a partir de maíz en lo que se refiere a materias primas de tipo biológico y se emplea en mezclas con gasolina, generalmente al 10%. En la actualidad, este último país ha sustituido casi el 2% de su gasolina por etanol.<sup>23</sup>

Otro producto que tiene gran importancia en el consumo en el ámbito mundial es el aceite de palma el cual representa 35 millones de toneladas, lo que equivale a cerca de 65 millones de barriles de petróleo.<sup>24</sup>

#### **4.10.3 Biomasa en México.**

La forma de aprovechar la biomasa como energético puede ser por medio de la combustión directa, como tradicionalmente se ha aprovechado en México la leña y el bagazo de caña, o bien mediante la conversión de la biomasa en diferentes hidrocarburos a través de diferentes tipos de procesos.

La combustión directa que todos conocemos es el proceso por el que se aprovecha el poder calorífico de la biomasa en México. Naturalmente en México se siguen los métodos tradicionales para producir carbón, no son volúmenes muy altos, son específicos y el dato que se conoce es de alrededor de 70,000 toneladas anuales. La pirólisis además del carbón puede dar lugar a líquidos como el alquitrán que es un combustible con cierto poder calorífico alto de unas 9,000 o 10,000 Kcal por litro (el petróleo tiene en promedio un poder calorífico de 9,192.3 kcal/lit) y también da lugar a la producción de monóxido de carbono que es un gas que puede emplearse como combustible.

Por el otro lado se tienen procesos biológicos, los tradicionales, la producción de alcohol a partir de productos celulósicos que por ejemplo nosotros conocemos tradicionalmente la producción de alcohol a través de una fermentación de caña. Cuando el azúcar está disponible para otros fines, alimenticios entre ellos, podemos pensar en residuos, en celulosa, darles un tratamiento con ácido clorhídrico, con alta temperatura, gasificarlos, llegar a la glucosa, fermentarlos y producir el alcohol.

El proceso de la fermentación anaeróbica puede ser empleado en muchos casos, el Instituto de Investigaciones Eléctricas empezó trabajando con residuos de animales, por un lado el proceso produce fertilizantes o un abono orgánico, más que un fertilizante es un acondicionador de suelos y en muchos casos se han hecho experimentos para emplearlo como un complemento alimenticio y por el otro tenemos un combustible que es el conocido como biogás.

En México se comienza a tener una mayor conciencia del potencial que ofrece el aprovechamiento de residuos, principalmente urbanos, dados los volúmenes que se manejan en las grandes ciudades del país.

La cuantificación del recurso de la biomasa es una tarea complicada y no existen en México datos precisos, salvo las estadísticas que presenta anualmente el balance nacional de energía en el que se consignan las cantidades consumidas de leña y bagazo de caña. Se estima que el consumo anual de los particulares es de 87,820 Tera Joules (TJ) de bagazo de caña y 247,400 TJ de leña, lo cuál da un total de 335,220 TJ.

Generación de electricidad a partir de desechos sólidos

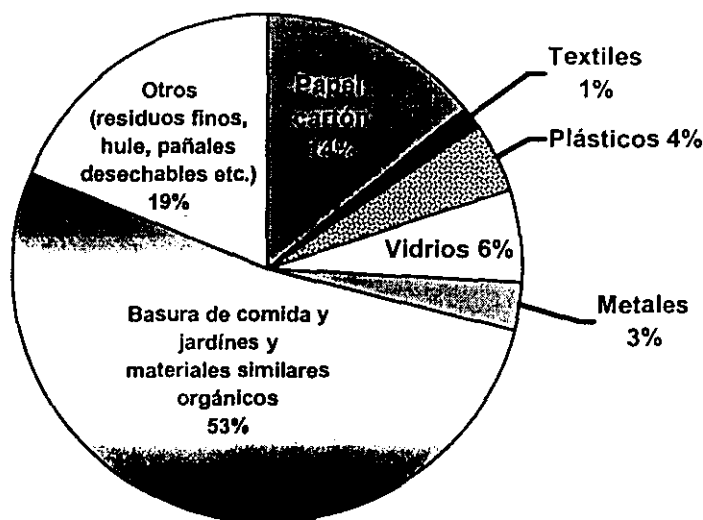
En México se podrían instalar varias plantas de generación de electricidad ya que tan solo en el D.F. y el Estado de México se producen diariamente más de 45,000 toneladas de basura en cada uno, según datos reportados por sedesol hasta 1996.

La composición de esta rica en materia orgánica ya que posee más del 50%, se muestra a continuación.

<b>Tabla No. 4.10 Residuos Municipales ( miles de toneladas)</b>					
<b>Generación de residuos municipales por composición</b>			<b>Disposición de residuos sólidos municipales</b>		
<b>Residuo</b>	<b>1992</b>	<b>1998</b>	<b>Disposición final</b>	<b>1992</b>	<b>1998</b>
Papel, cartón,	3075.5	4298.5			
Textiles	439.4	455.2			
Plásticos	878.7	1338.1			
Vidrios	1318.1	1802.5	Rellenos de tierra controlada	4641.8	15877.1
Metales	659	886.0	Rellenos de tierra no controlada	2710.1	1007.5
Basura de comida y jardines y materiales similares orgánicos	11423.1	16008.5	Tiraderos a cielo abierto	14465.7	13458.9
Otros (residuos finos, hule, pañales desechables etc.)	4173.8	5761.8	Reciclaje	149.91	206.91
<b>Total</b>	<b>21967.6</b>	<b>30550.6</b>	<b>Total</b>	<b>21967.51</b>	<b>30550.41</b>

Fuentes: Sedesol; Manual técnico administrativo para el servicio de limpia municipal, México 1995; Subsecretaría de desarrollo urbano y vivienda 1999; pág. electrónica de INEGI.

Gráfica No. 4.11 COMPOSICIÓN DE LA BASURA EN MÉXICO



Fuente: Semamat, Sedesol, Dirección de residuos sólidos 1999.

Tabla No. 4.11 Tratamiento de basuras e instalaciones para disposición final para el período 1991-1996

Instalaciones		1991	1992	1993	1994	1995	1996
1 Lugares de entierro	Número	74	79	85	87	91	92
	Capacidad	7 033.40	7 351.93	7 768.49	8 974.00	8 507.00	11 179.00
Sitios controlados	Número	13	13	18	18	30	31
	Capacidad	4 528.59	4 641.81	4 935.18	5 058.56	5 952.00	8 573.00
Sitios no controlados	Número	61	66	69	71	61	61
	Capacidad	2 504.81	2 710.13	2 833.31	2 915.44	2 555.00	2 606.00
2 Plantas de incineración	Número	-	-	-	-	-	-
	Capacidad	-	-	-	-	-	-
Con recuperación de energía	Número	-	-	-	-	-	-
	Capacidad	-	-	-	-	-	-
3 Plantas de tratamiento <sup>1</sup>	Número	-	-	-	-	-	-
	Capacidad	-	-	-	-	-	-
4 Almacenaje permanente	Número	-	-	-	-	-	-
	Capacidad	-	-	-	-	-	-
5 Otros <sup>2</sup> : Tiraderos a cielo abierto, tiraderos clandestinos, etc.	Número	-	-	-	-	-	-
	Capacidad	14 028.93	14 615.60	20 321.05	21 498.44	21 796.52	20 583.83

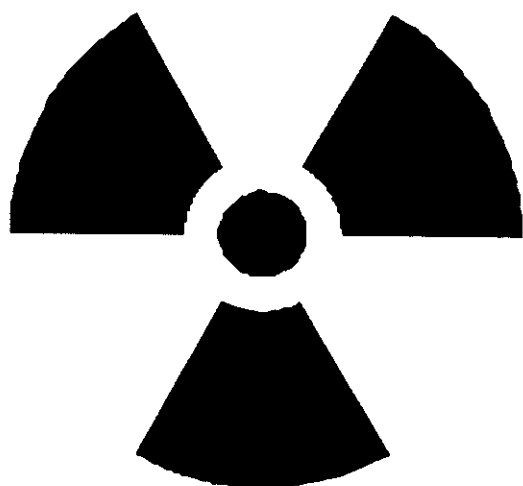
<sup>1</sup> Se refiere al tratamiento físico, químico y biológico.

<sup>2</sup> Total generado, menos lo dispuesto en entierros, menos lo recuperado y reciclado.

FUENTE: Sedesol, Dirección de Residuos Sólidos, fotocopiado, México, 1996.

La carencia de plantas incineradoras, la constante generación de grandes cantidades de basura originadas cada día que además es rica en materia orgánica, la creciente subida de los precios del petróleo y la mejora en las eficiencias de los procesos para generación de energía eléctrica tal vez sean muy atractivas para poder invertir en dichas plantas como sistemas de cogeneración.

*Capítulo V*  
*"Radioactividad"*





## **CAPÍTULO V** **"RADIOACTIVIDAD"**

### **5.1 Definiciones y conceptos básicos.**

Para poder entender un poco acerca de la tecnología nuclear, es necesario aclarar ciertos conceptos que vienen muy ligados en la materia y que son vitales ya que han tenido un impacto en nuestra vida, en concreto, al hablar de las radiaciones.

**Radioactividad:** Es la desintegración espontánea de un núcleo atómico inestable, acompañada habitualmente por la emisión de radiación ionizante.

**Radiación ionizante:** Es cualquier radiación que desplaza electrones de los átomos o las moléculas, produciendo así iones. Ejemplos: las radiaciones alfa, beta y gamma; la luz ultravioleta de onda corta. La radiación ionizante puede causar daños graves en la piel o los tejidos.

**Radiación:** Emisión o propagación de la energía a través de la materia o del espacio por medio de perturbaciones electromagnéticas, las que actúan tanto como ondas como en forma de partículas conocidas como fotones, flujos de partículas alfa y beta en rápido movimiento; neutrones libres y radiación cósmica; La radiación nuclear es la emitida por los núcleos atómicos en varias reacciones nucleares, incluyendo la radiación alfa, beta, gamma y los neutrones.

Un ejemplo, al hablar de las radiaciones, es que 1,500 trabajadores de las minas de cobalto de Sajonia y de las minas de peblenda de Bohemia sufrieron un misterioso mal de montaña. Su alto porcentaje de mortandad se debió al gas radioactivo radón que escapaba del uranio contenido en el mineral de peblenda. Sin ventilación adecuada en las minas, las partículas alfa de este gas inodoro e incoloro y sus productos derivados atacaron el tejido pulmonar de los mineros causándoles cáncer de pulmón.

Casi 450 años después, durante la última década del siglo pasado, en el laboratorio de física del Museo de Historia Natural de París, a partir de unos estudios de fluorescencia en compuestos de Uranio, Henry Becquerel descubrió la radioactividad. Este hallazgo se hizo público el 2 de marzo de 1896.

Lo lamentable es que no se aprendió la lección del todo ya que en la actualidad, muchos mineros del uranio en diversos países siguen muriendo de cáncer de pulmón por exposición al gas radón en las minas.

En la naturaleza, la radioactividad se presenta principalmente como resultado de la existencia de las series radiactivas naturales, se encuentra en el hombre como en todo lo que le rodea. En efecto, la radiación natural a la que está expuesta la población proviene de la que se emite a partir de la desintegración de isótopos radiactivos en la corteza terrestre, de la radiación cósmica y de aquella que proviene de los isótopos radiactivos que forman parte de los seres vivos. La primera depende del tipo de rocas existentes en el lugar, la segunda, de la altura sobre el nivel del mar, y la tercera, de la edad del ser humano y su dieta.

Existen otras fuentes de radiación que afectan la población: las que se utilizan en equipo médico, ó bien las que provienen de concentraciones muy elevadas de radioisótopos en recintos cerrados (en reactores nucleares).

En la Tierra existen más de 2,000 isótopos de los elementos naturales. Más de 70 de éstos son radiactivos y pueden clasificarse en tres categorías:

- a) **Radioisótopos primarios:** Son aquellos que tienen una vida media suficientemente grande, se formaron hace alrededor de 5,000 millones de años (edad aproximada de la Tierra) y aún existen.
- b) **Radioisótopos secundarios:** Estos cuentan con vidas medias tan pequeñas, comparadas con la edad de la Tierra y su existencia se explica porque se están formando continuamente por desintegración de los isótopos primarios (Uranio, Plutonio, metales pesados principalmente).
- c) **Radioisótopos inducidos:** Son aquellos que se generan continuamente por la interacción de la radiación cósmica con ciertos elementos existentes en nuestro planeta y los generados en los reactores nucleares, principalmente en los de regeneración rápida (ver capítulo VI «Energía de Fisión»).

El público en general puede estar expuesto a productos de consumo que no contienen materiales radiactivos pero que emiten rayos X, debido al frenado de electrones.

El ejemplo más común es la televisión en color, que en promedio a cinco centímetros de la superficie de la pantalla durante el tiempo normal que se ve la imagen, contribuye con un equivalente de dosis anual de 10  $\mu\text{Sv}$  (1mrem) aproximadamente.

Los núcleos de los átomos pueden transformarse unos en otros, o pasar de un estado energético a otro, mediante la emisión de radiaciones que son principalmente alfa, beta y gama. Se dice entonces que los núcleos son radiactivos; el proceso que sufren se denomina decaimiento radiactivo o desintegración radiactiva. Esta transformación o decaimiento sucede de manera espontánea en cada núcleo, sin que pueda impedirse mediante ningún factor externo; cada decaimiento va acompañado por la emisión de al menos una radiación.

Los decaimientos radiactivos de los diferentes núcleos se caracterizan por: Tipo de emisión, su energía y la rapidez de decaimiento que a continuación se describen.

## 5.2 Tipos de radiaciones.

- a) **Decaimiento alfa ( $\alpha$ ):** Un gran número de elementos pesados pueden emitir esta partícula, que consiste de un agregado de dos protones y dos neutrones emitidas a velocidades muy grandes (unos 20,000 km/seg.). Estas partículas son idénticas a núcleos de helio ( ${}^4\text{He}$ ), por lo que su carga es +2e y su número de masa es 4. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, pierde 2 unidades de carga y 4 de masa, transformándose en otro núcleo.

El alcance de las partículas alfa en el aire se da mediante la siguiente fórmula:

$$R(\text{aire}) = .318 E^{3/2}$$

R está dado en centímetros

E es la energía de la partícula alfa en MeV

El alcance en sólidos está dado por la ecuación:

$$R(\text{sólido}) = 3.2 \times 10^{-4} R(\text{aire}) (A/\rho)^{1/2}$$

A número de masa del sólido

$\rho$  densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Resulta del orden de una diezmilésima del alcance en aire.

- b) **Decaimiento beta ( $\beta$ ):** Hay dos tipos, decaimiento beta positivo y decaimiento beta negativo, su poder de penetración es cien veces superior a la partícula alfa, pero su poder ionizante es mil veces inferior al de las partículas alfa. Su velocidad de traslación es próxima a la de la luz (290,000 km/seg) y constituyen el 2% del total de las radiaciones emitidas.
- c) **Decaimiento gamma ( $\gamma$ ):** Los rayos gamma son fotones, o sea, paquetes de radiación electromagnética, como la luz visible, la ultravioleta, la infrarroja, los rayos X, las microondas y las ondas de radio. No tienen masa ni carga, y solamente constituyen energía emitida en forma de onda. En consecuencia, cuando un núcleo emite un rayo gamma, se mantiene como el mismo núcleo, pero en un estado de menor energía. Poseen el máximo poder de penetración, indiferentes a la acción de imanes. Por su naturaleza son ondas electromagnéticas análogas a los rayos X, pero de longitud muy inferior a la de éstos, razón por la cual son más penetrantes pudiendo atravesar láminas de plomo hasta de 15 cm de espesor. Su energía oscila entre 100,000 y 2,000,000 de voltios, lo cual explica su gran poder de penetración; los rayos gamma se diferencian de los rayos  $\alpha$  y  $\beta$  en que carecen de materia: son radiaciones de altísima frecuencia que se transmiten a la velocidad de 300,000 km/seg. (Velocidad de la luz).
- Estas radiaciones destruyen las células de los seres vivos.

**Captura electrónica:** En ciertos nucleótidos es posible otro tipo de decaimiento, la captura electrónica. En este caso el núcleo atrapa un electrón orbital, de carga negativa. En consecuencia uno de sus protones se transforma en un neutrón, disminuyendo así su número atómico. El electrón atrapado por el núcleo generalmente proviene de la capa K, dejando una vacancia. Para llenar esta vacancia, cae un electrón de una capa exterior (L, M, etc.), emitiendo de manera simultánea un fotón de rayos X..

Las **radiaciones alfa** son frenadas por una superficie como el papel.

**Radiaciones beta** se detienen mediante placas delgadas de metal, y las radiaciones gamma se detienen mediante placas gruesas ó de plomo.

De la gran mayoría de las fuentes radiactivas que se usan en la actualidad, la radiactividad ha sido inducida por bombardeo con neutrones provenientes de un reactor nuclear.

### **5.3 Decaimiento Radiactivo.**

Un núclido al desintegrarse se transforma en otro núclido y por lo tanto desaparece. Si el proceso es rápido, el núclido original dura poco, pronto se agota. Si el proceso es lento, puede durar mucho tiempo, hasta miles de millones de años.

De donde supongamos que se tiene una muestra con un número dado N de núcleos radiactivos. La actividad A, o sea, la emisión de radiación por unidad de tiempo, es proporcional al número N presente en cada instante.  $A = \lambda N$

La  $\lambda$  se llama constante de decaimiento, y es característica de cada elemento. Representa la probabilidad de que haya una emisión en un lapso de tiempo. La actividad A se mide en desintegraciones / unidad de tiempo. La unidad de actividad aceptada internacionalmente es el Becquerel (Bq), que equivale a 1 desintegraciones / segundo.

1 MegaBecquerel = 1MBq = 1,000,000 desintegraciones / segundo.

También se ha usado tradicionalmente la unidad de Curie (Ci), igual a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones / segundo (ésta es la actividad de un gramo de Radio). Es claro que:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Los submúltiplos del Curie son: 1 miliCurie = 1mCi =  $10^{-3}$  Ci = .001Ci

### 5.4 Vida media.

Para representar la duración de las fuentes radioactivas se ha definido el concepto de vida media, y se representa como  $t_{1/2}$ , que es el tiempo en que un isótopo tarda en reducir su actividad a la mitad.

**Tabla No.5.1 VIDA MEDIA DE ALGUNOS NUCLIDOS**

Núclido	Forma de Desintegración	Vida Media ( $t_{1/2}$ )
<sup>3</sup> H	$\beta^-$	12.3 años
<sup>14</sup> C	$\beta^-$	5730 años
<sup>19</sup> O	$\beta^-$ y $\gamma$	27 seg.
<sup>20</sup> F	$\beta^-$ y $\gamma$	11.4 seg.
<sup>39</sup> Cl	$\beta^-$ y $\gamma$	55.5 min.
<sup>40</sup> K	$\beta^-$ , $\gamma$ , $k^+$	$1.4 \times 10^9$ años
<sup>49</sup> Sc	$\beta^-$ y $\gamma$	57.5 min.
<sup>71</sup> Zn	$\beta^-$ y $\gamma$	2.4 min.
<sup>87</sup> Rb	$\beta^-$	$5 \times 10^{10}$ años
<sup>100</sup> Pd	Captura $k^+$ y $\gamma$	4 días
<sup>129</sup> Cs	Captura $k^+$ y $\gamma$	32.4 horas
<sup>139</sup> Pm	$\beta^-$ y $\gamma$	53.1 horas
<sup>150</sup> Nd	$\beta^-$	$2 \times 10^{10}$ años
<sup>152</sup> Sm	$\alpha$	$2.5 \times 10^{11}$ años
<sup>174</sup> Lu	$\beta^-$ , $\alpha$ , $k^+$	$7.2 \times 10^{10}$ años
<sup>183</sup> Os	Captura $k^+$ y $\gamma$	12 horas
<sup>187</sup> Re	$\beta^-$	$4 \times 10^{12}$ años
<sup>206</sup> Pb	No emite	estable
<sup>207</sup> Pb	No emite	estable
<sup>208</sup> Pb	No emite	estable
<sup>212</sup> Pb	$\beta^-$ y $\gamma$	10.6 horas
<sup>194</sup> Po	$\alpha$	0.6 seg.
<sup>210</sup> Po	$\alpha$	138 días
<sup>219</sup> Rn	$\alpha$	3.92 seg.
<sup>220</sup> Rn	$\alpha$	54.5 seg.
<sup>222</sup> Rn	$\alpha$	3.82 días
<sup>227</sup> U	$\alpha$ y $\gamma$	1.3 min.
<sup>233</sup> U	$\alpha$ y $\gamma$	$1.62 \times 10^5$ años
<sup>234</sup> U	$\alpha$ y $\gamma$	$2.67 \times 10^5$ años
<sup>235</sup> U	$\alpha$ y $\gamma$	$7.1 \times 10^8$ años
<sup>238</sup> U	$\alpha$ y $\gamma$	$4.51 \times 10^9$ años
<sup>236</sup> Pu	$\alpha$ y $\gamma$	2.85 años
<sup>239</sup> Pu	$\alpha$	24,360 años
<sup>241</sup> Pu	$\beta^-$	13 años
<sup>242</sup> Pu	$\alpha$ y $\beta^-$	$3.79 \times 10^5$ años
<sup>244</sup> Fm	Fisión espontánea	0.0033 seg.

Nota: Por captura de un electrón K

Al transcurrir la vida media, la actividad se reduce a la mitad, el transcurrir dos vidas medias se reduce a la cuarta parte y así sucesivamente la actividad se reduce a una fracción de  $1/2^n$  del valor original.

Existe una relación inversa entre la constante de decaimiento y la vida media:  $t_{1/2} = 0.693/\lambda$

Cada nucleótido tiene su vida media propia, y ésta es otra cantidad que no puede ser alterada por ningún factor.

### **5.5 Unidades que se usan en la seguridad radiológica.**

Los efectos dañinos de la radiación ionizante en un organismo vivo se deben en primera instancia a la energía absorbida por las células y los tejidos que lo forman. Esta energía, absorbida principalmente a través de los mecanismos de ionización y excitación atómica, produce descomposición química de las moléculas presentes.

La Comisión Internacional de Unidades de Radiación (CIUR) se ha abocado a la tarea de definir un sistema de unidades aceptado internacionalmente y de empleo rutinario en la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).

Estas unidades en el sistema internacional (S.I.) incluye el Becquerel, el Gray y el Sievert y vienen a sustituir al Curie, al Rad y el Rem que son las unidades tradicionales.

El **Roentgen** es una **medida de la ionización producida por una radiación**; Es la exposición (X ó gamma) recibida por un kilogramo de aire en condiciones estándar de presión y temperatura (CSPT) si se produce un número de pares de iones equivalentes a  $2.58 \times 10^{19}$  Coulombs. Como la carga de un ion es  $1.602 \times 10^{-19}$  Coulombs, esto equivale a que se produzcan  $1.61 \times 10^{15}$  pares de iones/kilogramo de aire, de donde:

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Coulombs/kg de aire en CSPT}$$

$$1 \text{ R} = 1.61 \times 10^{15} \text{ pares de iones/kilogramo de aire en CSPT}$$

Antiguamente se tomaba 0.001293 gramos ( $1 \text{ cm}^3$ ) de aire en vez de un kilogramo, y una unidad electrostática de carga en vez de un Coulomb. La energía necesaria para cada ionización del aire es de 34 eV, equivalente a  $5.4 \times 10^{-18}$  joules de donde:

$$1 \text{ R} = 0.00869 \text{ J/kg de aire}$$

En tejido la energía de ionización es  $1 \text{ R} = 0.0096 \text{ J/kg de tejido}$ .

El Roentgen deposita diferentes cantidades de energía según el material que recibe la exposición ó dosis absorbida (D) que es la energía depositada por unidad de masa, independientemente de que material se trate.

En el S.I. la **unidad de dosis absorbida es el Gray (Gy) = 1 J/kg**.

La **antigua unidad** de dosis absorbida es el **rad = 0.01 J/kg**. O sea,  $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$

Por lo que 1 Roentgen deposita en tejido una dosis de 0.96 rad.

Aunque todas las radiaciones ionizantes son capaces de producir efectos biológicos similares, una cierta dosis absorbida puede producir efectos de magnitudes distintas, según el tipo de radiación de que se trate. Esta diferencia de comportamiento ha llevado a definir una cantidad llamada factor de calidad Q para cada tipo de radiación.

Se seleccionó arbitrariamente  $Q=1$  para rayos X y gamma; el factor de calidad es una medida de los efectos biológicos producidos por las distintas radiaciones, comparados con los producidos por los rayos antes mencionados. Por ejemplo un Gray de partículas alfa produce efectos biológicos 20 veces más severos que un Gray de rayos X como se muestra en la siguiente tabla:

<b>Tabla No. 5.2</b>	
<b>Tipo de Radiación</b>	<b>Factores de calidad "Q"</b>
Rayos X, γ	1
Electrones	1
Neutrones Térmicos	2.3
Neutrones Rápidos	10
Protones	10
Partículas α	20

El factor de calidad depende de la densidad de ionización de las diferentes radiaciones.

La dosis equivalente es un nuevo concepto que se definió tomando en cuenta el factor de calidad. Es igual a la dosis absorbida multiplicada por el factor de calidad. La **unidad de dosis** equivale en el S.I. es el Sievert (Sv) que se define como:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times Q$$

La unidad antigua era el rem, siendo  $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times Q = 0.01 \text{ Sv}$

<b>Tabla No. 5.3 UNIDADES USADAS EN RADIOACTIVIDAD</b>			
Concepto	Proceso Físico	Unidad antigua	S.I.
Actividad	Desintegración Nuclear	Ci	Bq
Exposición	Ionización del aire	R	R
Dosis absorbida	Energía depositada	rad	Gy
Dosis equivalente	Efecto biológico	rem	Sv

Algunas conversiones útiles son:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 3.7 \times 10^4 \text{ MBq}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}; \quad 1 \text{ cGy} = 1 \text{ rad}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}; \quad 1 \text{ mSv} = 0.1 \text{ rem}; \quad 1 \mu\text{Sv} = 0.1 \text{ mrem}$$

$$1 \text{ mSv} = 0.1 \text{ rem}$$

Las unidades de dosis absorbida y dosis equivalentes expresan la cantidad total de radiación recibida. Para controlar los riesgos por radiación también es necesario conocer la rapidez (razón ó tasa) a la cual se recibe la dosis. Para conocer la razón de dosis se divide la dosis recibida (D) entre el intervalo de tiempo (t) correspondiente. La dosis total recibida es igual a la razón de dosis multiplicada por el tiempo de exposición t

$$D = (D/t) t$$

**Ejemplo:** Si una fuente radiactiva produce a una cierta distancia una razón de dosis de 2 mrem/hr y una persona permanece en esa posición durante 6 horas, entonces recibirá una dosis total de  $D = (D/t) t = (2 \text{ mrem/hora}) 6 \text{ horas} = 12 \text{ mrem}$ .

La radiación ionizante en general no es perceptible por los sentidos, por lo que es necesario valerse de instrumentos apropiados para detectar su presencia, así mismo interesa su intensidad, su energía o cualquier otra

propiedad que ayude a evaluar sus efectos. Para eso se han desarrollado muchos tipos de detectores de radiación como los:

- Detectores de ionización de gas: Cámara de ionización, proporcionales y Geiger Müller.
- Detectores de Centelleo.
- Detectores de Neutrones.

El diseño de los detectores está basado en el conocimiento de la interacción de las radiaciones con la materia; las radiaciones depositan energía en los materiales, principalmente a través de la ionización y excitación de sus átomos. Además, puede haber emisión de luz, cambio de temperatura o efectos químicos lo cual puede ser un indicador de presencia de radiación.

### **5.6 Seguridad radiológica.**

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIRP) es el organismo establecido para recomendar prácticas seguras sobre el uso de radiación.

Para el personal expuesto se ha definido el concepto de **dosis máxima permitida**, aunque en la actualidad se prefiere el término **límite recomendado de dosis equivalente (LDE)**, el cual se ha fijado en 50 mSv (5rem) por año para personal ocupacionalmente expuesto.

Esta dosis, promediada sobre 50 semanas por año, es igual a 1mSv (100mrem/semana). Considerando 40 horas de trabajo por semana, esto equivale a **25  $\mu$ Sv (2.5 mrem)/hora. Se recomienda no exceder de esta dosis.**

De fuentes naturales de radiación recibimos aproximadamente 1.0 mSv (100 mrem = 0.1rem)/año. Una fuente es la radiación cósmica, que nos llega de fuera del planeta. La atmósfera sirve de blindaje para la mayor parte de ella, pero aun así nos llega una dosis de aproximadamente 0.35 mSv (35 mrem)/año en el ecuador a nivel del mar. Esta dosis aumenta con la latitud debido al campo magnético de la tierra, hasta que a latitud 50° se reciben aproximadamente 0.5 mSv (50 mrem) / año, siendo estos valores 1/100 del LDE.

A 2000 metros sobre el nivel del mar, aumenta a 1mSv/año. Mientras que a 5,000 metros llega a 3mSv/año. En un viaje aéreo transatlántico, se reciben aproximadamente 0.05mSv.

Otra fuente natural de radiación son ciertos elementos radiactivos que están presentes en cualquier mineral, como el Uranio, el Torio y el Potasio 40. De ellos recibimos en general, dependiendo de variaciones locales, entre 0.3 y 1.0 mSv / año, pero en yacimientos ricos de estos minerales la dosis es mayor.

Entre algunos ejemplos de fuentes artificiales son los reactores nucleares, las fuentes radiactivas y los aparatos médicos e industriales de la radiación. Tan sólo una radiografía de tórax produce 0.2 mSv / segundo, una radiografía dental 10 mSv pero en una región muy localizada del cuerpo.

Dentro de las radiaciones las emisiones de partículas alfa no se consideran de riesgo externo importante porque éstas no penetran sino unas micras de la piel.



*El dilema de la energía*  
 Capítulo V "Radioactividad"

Las emisiones de partícula beta son más importantes por el poder de penetración en tejido, y las emisiones de rayos X y gamma, así como los neutrones, constituyen las fuentes de mayor riesgo externo, debido principalmente a su gran poder de penetración en el organismo.

Las medidas de protección contra la irradiación por fuentes externas son: tiempo, distancia y blindaje.

a) El efecto del tiempo de debe simplemente a que la dosis se acumula con el tiempo.

La razón de dosis de rayos gamma recibida se calcula:

$$D/t = \Gamma A/r^2$$

Donde D/t es la razón de dosis equivalente en rem/hr, A es la actividad en Ci y r es la distancia (media) de la fuente al absorbedor en metros. La constante  $\Gamma$  tiene un valor para cada tipo de fuente como por ejemplo:

para el  $Cs^{137}$   $\Gamma = 0.36$ , para el  $Ra^{226}$   $\Gamma = 0.84$ .

b) El efecto de la distancia, la radiación actúa como un foco luminoso ya que la dosis que recibe un individuo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente.

c) El blindaje: Consiste en interponer entre la fuente y la persona suficiente material para atenuar la radiación, de donde la atenuación sigue una ley exponencial.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Donde  $I_0$  es la intensidad de radiación que llega al material atenuador (blindaje), I es la intensidad que logra atravesarlo,  $\mu$  es el coeficiente lineal de atenuación, y x es el grueso del blindaje. Se acostumbra emplear el coeficiente másico de atenuación  $\mu/\rho$ , cuyas unidades son como se muestra a continuación:

**Tabla No. 5.4**

Material	$\mu/\rho$ en $cm^2/g$ E = 0.66 MeV	$\mu/\rho$ en $cm^2/g$ E = 1.33 MeV	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Aire	0.078	0.055	.001293 (STP)
Agua (tejido)	0.087	0.06	1
Aluminio	0.077	0.055	2.7
Plomo	0.1	0.056	11.3
Fierro	0.073	0.053	7.0 - 7.9
Cemento	0.078	0.055	2.7 - 3.0

A la fórmula de razón de dosis recibida por una fuente de actividad conocida debe agregarse el factor exponencial si se quiere tomar en cuenta el blindaje, quedando:

$$D/t = (\Gamma A/r^2) e^{-\mu x}$$

La capa hemirreductora  $x_{1/2}$  es el espesor del blindaje que reduce la intensidad de la radiación a la mitad, se calcula mediante:

$$X_{1/2} = .693 / \mu$$

Como cada capa hemirreductora que se agrega reduce la intensidad a la mitad, el poner n capas hemirreductoras reduce la intensidad por un factor  $2^n$ .

Por lo tanto, si la razón de dosis calculada precisamente se divide entre este factor, para incluir el efecto del blindaje, resulta:

$$D/t = \Gamma A / (r^2 2^n)$$

### **5.7 Efectos por radiación interna.**

**La radiación interna puede ingresar al cuerpo por ingestión, por inhalación, por absorción a través de la piel, o por contacto con una herida abierta.**

Por su alta ionización, las radiaciones alfa y las betas constituyen en este caso un alto riesgo, pues una pequeña cantidad de material emisor puede depositar una dosis alta muy localizada.

La vida media del isótopo es importante cuando la sustancia se fija en el organismo, pero también se puede hablar de una vida media de permanencia en el cuerpo, determinada por los mecanismos naturales de eliminación de sustancias ajenas o tóxicas. Por ejemplo:

Una sustancia química que se elimina con la orina sólo permanecerá toda la vida del individuo. La dosis recibida a final de cuentas será producto de la combinación de las dos vidas medias.

La presencia indeseable de material radiactivo en utensilios, mesas de trabajo, ropa, partes del cuerpo, etc..., se conoce como contaminación radioactiva, y puede ocasionar la penetración al cuerpo, con el consiguiente riesgo interno.

### **5.8 Daño y efecto biológico por las radiaciones.**

Para obtener un efecto biológico dado, se requiere dar una determinada dosis mayor que la dosis umbral. La **dosis umbral** es aquella que marca el límite arriba del cual se presenta un efecto, y debajo del cual no hay efecto. Algunos de los efectos de la radiación caen en este caso, los no estocásticos (la severidad aumenta con la dosis, y se produce a partir de una dosis umbral. Para dosis pequeñas no habrá efectos clínicamente detectables. Las quemaduras caen dentro de esta categoría.).

Otras sustancias no tienen una respuesta de este tipo, es decir, no tienen umbral, por lo tanto no hay una dosis mínima para producir un efecto. Cualquier dosis dada produce un efecto; para obtener un efecto cero se requiere una dosis cero. Los efectos biológicos estocásticos (son aquellos cuya probabilidad de ocurrencia se incrementa con la dosis recibida, así como con el tiempo de exposición. No tiene dosis umbral para manifestarse. Pueden ocurrir o no ocurrir; no existe un estado intermedio. Su probabilidad de ocurrir depende de la dosis recibida.) de la radiación se comportan de la siguiente manera:

Una dosis dada producirá menos efecto si se suministra fraccionada en un lapso mayor, que si se aplica en una sola exposición. Esto se debe al poder de restauración del organismo. Esta recuperación no es total y siempre queda un daño acumulativo.

El lapso entre el instante de radiación y la manifestación de los efectos se conoce como período latente. Con esto se pueden clasificar los daños biológicos como agudos (a corto plazo), que aparecen en unos minutos, días o semanas, y diferidos (largo plazo), que aparecen después de años, décadas y a veces en generaciones posteriores.

A bajas dosis (menos de 100 mSv o 10 rem) no se espera observar ninguna respuesta clínica. La dosis letal media, es aquella a la cual 50% de los individuos irradiados mueren, es de 4 Sv (400 rem). Una persona podría recibir 10 Sv (1,000rem) en un brazo y experimentar una lesión local, pero esa misma dosis a cuerpo entero le causaría inexorablemente la muerte.

### 5.9 Efectos de radiación en las células.

Cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, la interacción a nivel celular se puede llevar a cabo en membranas, el citoplasma y el núcleo.

- a) Si la interacción sucede en alguna de las **membranas** se producen alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores que las normales. Aún así, la célula no muere, pero sus funciones de multiplicación no se llevan a cabo; en el caso en que el daño es generalizado la célula puede morir.
- b) En el caso de que la interacción suceda en el **citoplasma**, cuya principal sustancia es el agua, al ser ionizada se forman radicales químicamente inestables. Algunos de estos tendrán a unirse para formar moléculas de agua y moléculas de hidrógeno, las cuales no son nocivas para el citoplasma. Otros se combinan para formar peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el cual sí produce alteraciones en el funcionamiento de las células. La situación más crítica se presenta cuando se forma el hidronio ( $HO^+$ ), el cual produce envenenamiento.
- c) Cuando la radiación ionizante llega hasta el **núcleo de la célula**, puede producir alteraciones de los genes e inclusive rompimiento de los cromosomas, provocando que cuando la célula se divida lo haga con características diferentes a la célula original. Esto se conoce como daño genético de la radiación ionizante, que puede producir en las células: aumento o disminución de volumen, muerte, un estado latente y/o mutaciones genéticas.

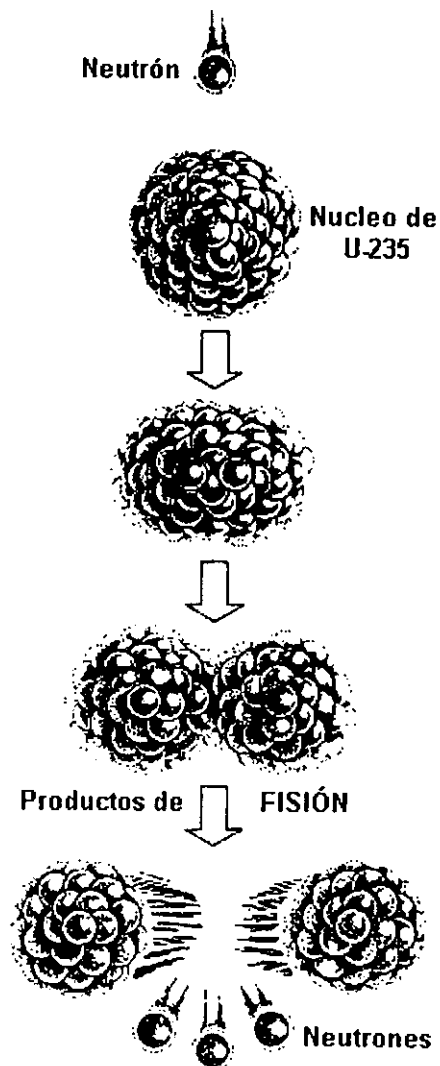
Se pueden clasificar los **efectos biológicos** en el hombre como **somáticos** y **hereditarios**.

- El daño a los genes de una célula somática puede producir daño a la célula hija, pero sería un efecto somático no hereditario.
- El **síndrome de irradiación aguda** es el conjunto de síntomas por la exposición total o una gran porción del cuerpo a la radiación. Consiste en náuseas, vómito, anorexia (inapetencia), pérdida de peso, fiebre y hemorragia intestinal. Según su período de latencia, los efectos se han clasificado en agudos (a corto plazo) y diferidos (a largo plazo)
- A continuación se presenta una tabla con la radiación recibida vs efecto biológico en los humanos.

f  
c

# Capítulo VI

## "Energía Nuclear de Fisión"



## CAPÍTULO VI “ENERGÍA NUCLEAR DE FISIÓN” (Reactores de primera y segunda generación)

### 6.1 Tipos de reactores nucleares por generación.

- 1) **Reactores de primera generación:** Son los reactores de fisión nuclear que trabajan con  $U^{235}$ .
- 2) **Reactores de segunda generación:** Son los reactores de regeneración rápida que trabajan con  $U^{238}$  para producir  $Pu^{239}$  principalmente.
- 3) **Reactores de tercera generación:** Son los reactores de fusión nuclear (ver capítulo VIII)

### 6.2 Definiciones y conceptos.<sup>1</sup>

**Fisión:** Material fisible mezclado artificialmente con los elementos productos de la fusión para estimular al material resultante de la fisión.

División de un núcleo pesado en dos partes aproximadamente iguales, acompañados por la liberación de una cantidad relativamente grande de energía, y generalmente de uno o más neutrones. La fisión puede producirse espontáneamente, pero en general es ocasionada por la absorción nuclear de los rayos gamma, los neutrones, u otras partículas.

**Fisión espontánea:** Fisión que se produce sin estímulo externo.

**Fisión nuclear:** Reacción nuclear en la que un núcleo atómico inestable y pesado (cualquier elemento con número atómico de 84 o más), se divide en partes aproximadamente iguales, emitiendo neutrones, radiación y energía térmica. Los neutrones pueden disparar nuevas fisiones, dando origen así a una reacción en cadena.

**Fisión ternaria:** Un tipo raro de fisión nuclear en la que se forman tres fragmentos de fisión, uno de los cuales puede ser un núcleo ligero como el tritio.

**Fusión:** Reacción nuclear en la que se unen dos núcleos atómicos ligeros (o se funden) para formar un núcleo simple de un átomo más pesado. Este proceso tiene lugar en las estrellas. Ha sido duplicado por los físicos en la bomba de hidrógeno.

**Fusión nuclear:** Reacción nuclear en la que dos núcleos atómicos ligeros se funden o combinan para formar un núcleo más pesado, emitiendo partículas, radiación y energía térmica.

**Fusión termonuclear:** Fuente de energía disponible en los isótopos de hidrógeno en agua del mar

**Moderador:** Los materiales como el agua ligera y pesada, el óxido de berilio y el grafito se utilizan para desacelerar, o termalizar, los neutrones hasta una energía cercana a 0.025 eV. Conforme los neutrones chocan con los núcleos de estos átomos, su energía cinética y su velocidad se reducen gradualmente hasta que se logra el equilibrio térmico con la estructura del reactor. Mientras menos choques haya antes de que termine la desaceleración, menor será la probabilidad de que los átomos de  $U^{238}$  absorban neutrones.

**Masa crítica:** Si la cantidad de neutrones absorbidos por el moderador y el  $U^{238}$  es mayor que aproximadamente 1.5 neutrones excedentes emitidos en cada fisión, la reacción en cadena no se mantendrá y podrá salir de control.

**Refrigerante:** Sustancia que absorberá calor al vaporizarse, y cuyo punto de ebullición y otras propiedades la hacen útil como medio para la refrigeración.

**Refrigerante secundario:** Se utiliza para eliminar calor del circuito refrigerante primario.

El refrigerante primario ó el secundario el gas sobrecalentado que contienen sirve para mover una turbina que junto con un generador, transforman la energía cinética en eléctrica.

**Transmutación:** Transformación de un elemento en otro por reacción nuclear o serie de reacciones; por ejemplo la transformación del  $U^{238}$  en  $Pu^{239}$ .

Para llevar a cabo la fisión nuclear primeramente se necesita de un elemento pesado llamado Uranio el cual existen varios isótopos pero solo 2 son los que principalmente se usan, el  $U^{235}$  y el  $U^{238}$ .

### **6.3 Características y propiedades del "Uranio"**

El uranio es el elemento número 92 de la tabla periódica; en la naturaleza existen más de 100 especies mineralógicas que contienen uranio, pero los tres minerales primarios de este metal que tienen carácter económico industrial son:

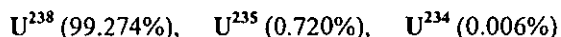
- 1) **Uranita** (óxido cristalino de uranio)
- 2) **Pechblenda** ó **Pecblenda** (óxido amorfo de uranio)
- 3) **Davidita** (óxido de titanio, de los metales de las tierras raras y de uranio)

Los seis minerales secundarios son: La **Carnotita**, **Tyuyamunita**, **Torbernita**, **Autunita**, **Uranofano** y **Schoroekingerita**.

Existe el uranio en la corteza terrestre en la proporción del 4 por 1,000, está muy difundido en la Tierra, y, además, se encuentra en varios minerales de vanadio así como en otros minerales raros.

En los océanos también existe uranio pero en cantidades muy pequeñas de aproximadamente 3.34 ppm lo que significa que para obtener una tonelada métrica de uranio, se requiere procesar un millón de metros cúbicos de agua; las reservas estimadas en este son de  $4 \times 10^9$  toneladas de uranio.<sup>2</sup>

Realmente el uranio no es un elemento, sino más bien un compuesto de tres isótopos cuyos pesos atómicos y proporción en que entran en la composición son los siguientes:



Como consecuencia, la escisión del uranio da lugar a la formación de numerosos elementos radiactivos, una verdadera serie de ellos radiactivos artificiales, cuyos primeros términos son el neptunio  $Np^{239}$ , y el plutonio  $Pu^{239}$ .

Es un metal muy denso, duro, y de aspecto semejante al acero y níquel. Funde a  $1,132^{\circ}C$ , hierve a  $3,818^{\circ}C$ , y arde a esta temperatura en contacto del aire con gran brillo transformándose en óxido.

Funciona generalmente como tetra y como hexavalentes. Se le conocen varios óxidos como  $UO_2$ ,  $U_2O_5$ ,  $U_3O_8$ , hidróxidos y halogenuros.

Si está pulverizado se inflama a  $170^{\circ}C$  y a  $1,000^{\circ}C$  se combina con el nitrógeno y forma un nitrato de uranio.

El isótopo  $U^{235}$  es el más fácil de descomponer, pues su núcleo, bombardeado y excitado con neutrones térmicos de energía igual a la de enlace de los neutrones del mismo, se transforma en  $U^{236}$  por absorción de un neutrón, de masa igual a 1,00893; El fenómeno se produce con el desprendimiento de una cantidad de calor equivalente a 6.81 MeV. De modo análogo el núcleo del  $U^{238}$  se transforma en  $U^{239}$ , también inestable, el cual bombardeado se transforma en  $Np^{239}$  primer elemento transuránico, y este a su vez, en el  $Pu^{239}$  segundo elemento transuránico.<sup>3</sup>

#### 6.4 Obtención del Uranio.

Para poder recargar un reactor de nuclear, generalmente uno piensa que se extrae el uranio de las minas, se purifica, se enriquece y se manda el reactor para producir energía, pero este procedimiento es mucho más laborioso de lo que uno cree, cosa que no sucede con el carbón, gas, ó combustóleo. Aunque en algunos casos sus procesos podrían parecer complicados lo cierto es que son mucho menos complicados y peligrosos que la extracción del Uranio para el uso en los reactores nucleares.

Además de ser altamente riesgoso el procedimiento por los ácidos que se manejan (tanto el ácido nítrico como el fluorhídrico, este último al contacto con la piel, sus vapores producen llagas) el costo del proceso es muy caro; sobre todo en la sección de enriquecimiento ya que no cualquier país se da el lujo de invertir en complejos industriales tan caros como se verá más adelante.

Para extraer el uranio de sus minerales se utilizan dos procesos básicos:

- 1) **Lixiviación ácida:** Emplea ácido sulfúrico por razones de costo.

2) **Lixiviación alcalina:** Utiliza una mezcla de carbonato sódico y bicarbonato.

Después de la separación de las impurezas insolubles de la solución lixiviada alcalina se recupera el uranio como diuranato de sodio por adición de sosa cáustica.

De las soluciones ácidas, el uranio se separa mediante extracción por solvente o absorción, en resinas de intercambio iónico. Después el uranio se reconcentra eliminando el solvente o la resina cargados con una solución ácida o salina, se recupera precipitándolo como diuranato de amonio por adición de amoníaco. Tanto el diuranato de sodio  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$  como el de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$  son sólidos amarillos (llamado pastel amarillo) que se filtran y secan, conteniendo de 70-90% de  $\text{U}_3\text{O}_8$ ; se acostumbra procesos adicionales antes de las etapas de precipitación del diuranato para eliminar muchas de estas impurezas, y en general conducen a un producto final que contiene del 85% al 88% de  $\text{U}_3\text{O}_8$ , o sea, un promedio de 86.5%.

Una tonelada de mineral rendirá 4 libras (1.812 kg) o menos que representa 0.1812% para formar el pastel amarillo.

Si tomamos un 86.5% de  $\text{U}_3\text{O}_8$  y el otro 13.5% de  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$  y  $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$  en una relación 50% para cada uno considerando prácticamente despreciables las impurezas ya que el uranio requerido debe ser de una elevada pureza, no excediendo de manganeso y molibdeno 1.0 ppm, plata 0.5 ppm; boro, cadmio e iterbio inferior de 0.2 ppm y disprosio inferior a 0.1 ppm, el peso molecular promedio de la relación 86.5% y 13.5% es de 813.323 para tal mezcla se tiene que el contenido total de uranio por cada 1.812kg de pastel amarillo tiene un contenido de 1.5193 kg de Uranio (83.846% en peso) del cual bien sabemos que sólo el 0.72%, o sea, 0.010938 kg es de  $\text{U}^{235}$ . Así que para llenar un reactor nuclear de 100 toneladas de uranio enriquecido, grado comercial, este requiere de 3-5% de  $\text{U}^{235}$ , tomando una media de 4% lo que equivaldría a 4 toneladas.

Si hacemos cuentas para poder obtener del uranio natural 4 toneladas de  $\text{U}^{235}$  se necesitan haber obtenido 557.77 toneladas de Uranio natural, que del pastel amarillo sólo es el 83.846%, por lo que para formar el pastel amarillo se requieren 660.46 toneladas siendo tan solo el 0.1812% de mineral explotado a partir de la pechblenda o de algunos otros minerales que contienen este recurso llegamos a la conclusión, que para poder obtener 660.46 toneladas de pastel amarillo se requieren la explotación de 307,820 toneladas de mineral que representa el 100% de la materia prima.

Así que para llenar un reactor con 100 toneladas de uranio se requiere de una explotación de 275,911 toneladas de mineral para llenar el reactor por primera vez si consideramos que en la actualidad existen 432 reactores y la mayoría ocupan  $\text{U}^{235}$  como combustible.

Por lo que si se toma 432 reactores para la primera carga en cada uno de estos, se necesita explotar 119.19 millones de toneladas de mineral.

El mineral de uranio concentrado se disuelve en ácido nítrico para formar nitrato de uranio.

Este se filtra, se purifica y concentra, rociándose en un lecho fluidizado, el cual se trata en un gran tubo de acero inoxidable que contiene unas diez toneladas de polvo de trióxido de uranio calentado a cuyo través se sopla desde abajo una corriente de aire comprimido y también calentado. El nitrato de uranio rociado se descompone para formar más trióxido de uranio;

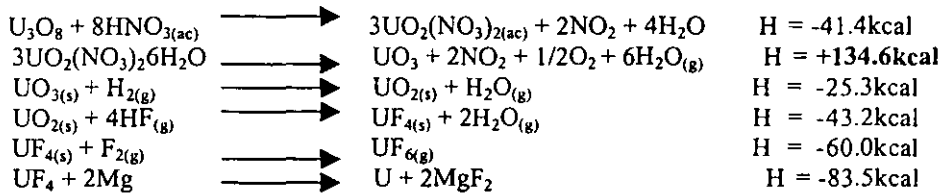


Cuando la cantidad aumenta en exceso se vierte a un segundo lecho fluidizado. En este se inyecta hidrógeno y el trióxido se calcina a 800 °C quedando reducido como bióxido de uranio (UO<sub>2</sub> también conocido como uranilo).

Este a su vez se manda a un tercer reactor de lecho fluidizado, en el que se inyecta ácido fluorhídrico calentado, para formarse tetrafluoruro de uranilo o sal verde.

Finalmente si el uranio ha de ser enriquecido (o sea, aumentando su contenido en U<sup>235</sup>), el tetrafluoruro se convierte en hexafluoruro de uranio, siendo transportado a la planta de difusión y enriquecimiento.

A continuación se esquematizan las reacciones involucradas para la producción uranio.<sup>4</sup>



Este es el paso más difícil en toda la producción del combustible de uranio, porque los isótopos de un mismo elemento son químicamente idénticos. Este se apoya en la diferencia de peso de los isótopos. El uranio se toma en forma de UF<sub>6</sub>, que es sólido a temperatura ambiente, pero se convierte en gas a una temperatura ligeramente mayor. Las moléculas más ligeras del gas (UF<sub>6</sub> rico en U<sup>235</sup>) viajan más deprisa que las pesadas (UF<sub>6</sub> rico en U<sup>238</sup>).

Si la mezcla de los isótopos se le opone una membrana porosa, los isótopos más ligeros llegan a la membrana con más frecuencia, por lo que pasan a través de la membrana más rápidamente que los isótopos más pesados.

## 6.5 Sistemas de enriquecimiento de Uranio.

**6.5.1 Planta de Difusión:** Una planta de enriquecimiento consiste en una serie de fases de difusión en cascada (más de 600 fases), donde cada fase tiene una cámara separada por una membrana porosa. Una parte de la cámara está a presión más alta que la otra, y es en aquella donde penetra el gas. La mitad del mismo pasa por la membrana con más <sup>235</sup>UF<sub>6</sub> que <sup>238</sup>UF<sub>6</sub>; esta mitad sale de la cámara y pasa a la fase siguiente de la cascada. La mitad con el reducido contenido de <sup>235</sup>UF<sub>6</sub> se dirige a la fase siguiente, cascada abajo.

El grado de separación conseguido en cada fase de una planta de difusión es extremadamente pequeño, por lo que se necesitan muchos centenares de fases y aplicar una altísima temperatura para cada etapa con el objeto de hacer que el U<sup>235</sup> llegue antes que el U<sup>238</sup>. Como resultado de ello las plantas de difusión son enormes.

Además, entre cada etapa existe una bomba de gas, un sistema de refrigeración para cada una de estas y un sistema de control. Por lo que la cantidad de energía consumida en estas plantas es muy elevada.

Para darnos una idea, las tres plantas de difusión construidas Estados Unidos casi a principios de 1940 y durante la década de 1950 que se hallan en Oak Ridge Tennessee, en Paducah Kentucky y en Portsmouth Ohio, costaron 2,400 millones de dólares, lo que hoy equivaldría a más de 10,000 millones de dólares. .

Por lo que las plantas de enriquecimiento para producir incluso  $U^{235}$  por debajo de 10% están más allá de las capacidades financieras y técnicas de la mayoría de las naciones.

Debido al gran costo y al gran tamaño de dichas plantas se empezó a recurrir a nuevas técnicas de enriquecimiento como:

**6.5.2 Planta centrífuga de enriquecimiento:** Donde se usa la pequeñísima diferencia de masa entre los dos isótopos para separarlos en una gigantesca centrífuga, en la que el  $U^{235}$ , menos denso, se concentra lejos de la periferia de la masa rodante. Tanto el proceso anterior como este requieren notables cantidades de energía instalaciones de grandes dimensiones, mucho más extensas que una refinería de petróleo.

**6.5.3 Método de separación isotópica mediante sistema láser:** Este método es relativamente novedoso y está en fase experimental y consiste en que los vapores de uranio natural se concentran en una cavidad óptica donde se someten a la acción del rayo láser que, cuando encuentra los átomos de  $U^{235}$ , los ioniza, o sea, los convierte en eléctricamente cargados pero sin modificar los átomos de  $U^{238}$ , de manera que pueden ser separados gracias a la atracción de un campo eléctrico transversal generado por dos electrodos.

Esta tecnología es muy revolucionaria ya que permite obtener el uranio enriquecido en un tiempo relativamente breve, en un espacio menos visible, más limitado y con menos dinero.

La desventaja es que en un futuro cercano se podrían desarrollar sistemas portátiles para la obtención de este recurso con fines bélicos. Esto sólo dependerá principalmente de poder llegar a crear láseres más poderosos en un espacio muy reducido aunque posiblemente ya se tenga algo que actualmente exista como secreto militar.

A continuación se esquematizan algunos de estos sistemas.

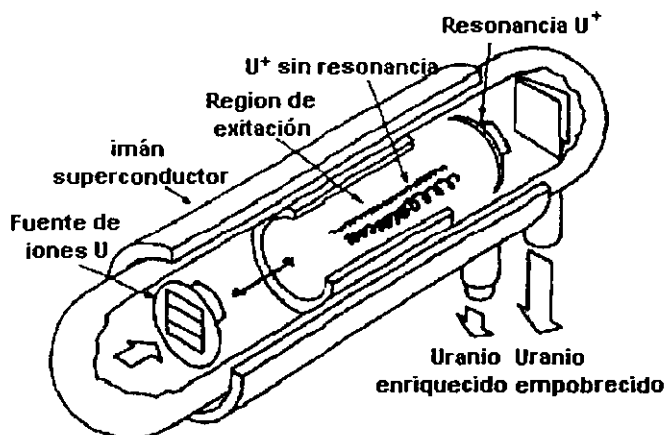


Figura No. 6.1 Proceso de Separación del isótopo del plasma

Fuente: Hunt V. Daniel Handbook of Energy Technology Trends and Perspectives, Ed. Nostrand Reinhold 1982, págs. 611-613.

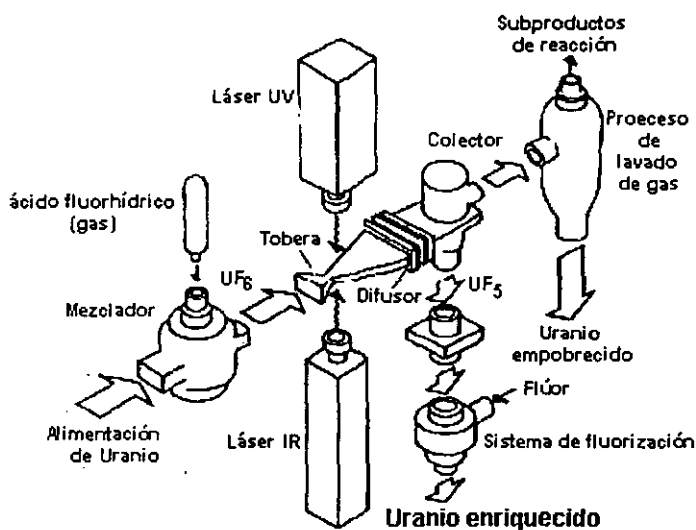


Figura No. 6.2 Proceso de separación Molecular del isótopo  $U^{235}$  mediante sistema láser.

Fuente: Hunt V. Daniel Handbook of Energy Technology Trends and Perspectives, Ed. Nostrand Reinhold 1982, págs. 611-613.

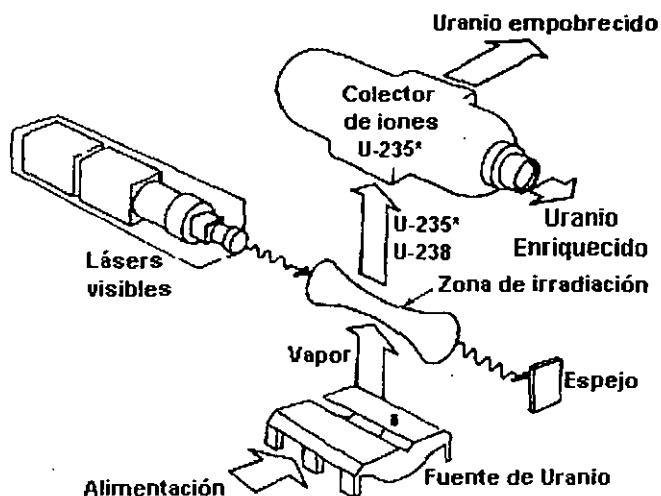


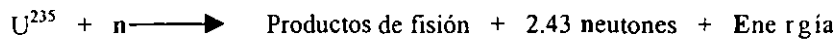
Figura No. 6.3 Proceso de Separación láser del isótopo  $U^{235}$  mediante vaporización.

Fuente: Hunt V. Daniel Handbook of Energy Technology Trends and Perspectives, Ed. Nostrand Reinhold 1982, págs. 611-613.

**"Reactores Nucleares Térmicos"**  
**(Primera Generación)**

### **6.6 Reactores Nucleares Térmicos.**

En este tipo de reactores la reacción que se llevan a cabo es:



Dentro de esta primera generación de reactores que empezaron a usarse con fines militares casi a mediados de los años 40 hasta la actualidad, se caracterizan por usar como combustible una mezcla de óxidos (MOX)  $UO_2$  (uranilo) de donde el uranio es enriquecido entre un 2.5-5.0% con  $U^{235}$  y el restante es  $U^{238}$ ; aunque en algunos otros reactores de tipo experimental se ha usado  $U^{235}$  con una pureza superior al 90%.

En esta categoría de reactores se tiene una gran diversidad pero además del tipo de combustible usado, tienen en común que poseen tres partes para su funcionamiento:

- 1) **Combustible**  $U^{235}$  enriquecido entre 2.5-5.0% normalmente 3%.
- 2) Un **Moderador** que puede ser el agua ligera ( $H_2O$ ), agua pesada ( $D_2O$ ), óxido de berilio ó grafito, que tienen como finalidad desacelerar, o termalizar los neutrones hasta una energía cercana a 0.025 eV, facilitando con esto una reacción controlada dentro del reactor.
- 3) **Refrigerante** su función es mantener la temperatura del dentro de un rango que impida la fusión del contenedor evitando que se lleve a cabo lo que se conoce como el síndrome de China, así como, al ser calentada el agua a muy elevadas temperaturas, se transforma en vapor el cual puede mover una turbina conectada a un generador y así poder generar electricidad, mientras que cuando se usa un gas, al calentarse mueve una turbina de gas conectada a un generador para producir energía eléctrica. La clasificación de los reactores esta dada principalmente por el agente refrigerante, que puede ser agua ligera, agua pesada, ó gas.

#### **6.6.1 Tipos de reactores Nucleares de primera generación.**

- 1) **Reactores refrigerados por agua:** Los reactores refrigerados por agua se caracterizan por utilizar agua como moderador y refrigerante, los reactores de agua ligera (LWR) utilizan agua ligera normal ( $H_2O$ ) y los reactores de agua pesada (HWR) utilizan agua pesada ( $D_2O$ ), al menos como moderador y constituyen el 7% de todas las centrales mejor conocidas como CANDU por su diseño canadiense. El LWR actualmente representa el 75% de todas las centrales nucleoelectricas en operación. Este tipo de reactor se ha venido explotando desde hace más de 35 años.  
El continuo perfeccionamiento y mejoramiento evolutivo de los diseños de centrales LWR han constituido la base para el desarrollo de los diseños avanzados ALWR, tanto del tipo BWR (reactor de

agua en ebullición que trabaja a bajas presiones o a la atmosférica), como del tipo PWR (reactor de agua a presión).

- 2) **Reactores refrigerados por gas:** Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR) se vienen desarrollando desde hace mucho tiempo, y aunque ya se han construido varias centrales prototipo o de demostración, **no se ha logrado tener pleno éxito en su explotación.** El HTGR es básicamente un reactor moderado por grafito con un gas (helio) como refrigerante. El gas He inerte y el diseño especial del combustible, hacen posible su funcionamiento a temperaturas considerablemente superiores a las de los reactores refrigerados por agua; lo que permite a su vez, producir a una temperatura (y presión) mucho más alta el vapor destinado a los generadores convencionales accionados por turbina de vapor, lográndose así una mejora considerable de la térmica de la central, o producir calor industrial en régimen de alta temperatura para aplicaciones especiales.

En los últimos años, los trabajos de desarrollo se han centrado en unidades modulares pequeñas, y se ha visto que los experimentos y análisis han demostrado que dichas unidades pueden lograr un grado excepcional de autoprotección.

A diferencia del combustible LWR y LMFBR (ver reactores de regeneración rápida), el combustible HTGR no está contenido en agujas de combustible revestidas de metal, sino en partículas de combustible. Estas partículas miden entre 0,2 y 0,6 mm y consisten en una mezcla de óxido o carburo de uranio o torio o uranio / torio. A fin de retener los productos de fisión, cada partícula está revestida con varias capas de material cerámico resistente a altas temperaturas. Las partículas se dispersan de manera homogénea en una matriz de grafito que se comprime ulteriormente en elementos esféricos, bolas, o en forma de barras, que se introducen en los canales de combustible de un bloque de grafito de agujeros múltiples. Las partículas permanecen intactas y retienen prácticamente todos los productos de fisión hasta una temperatura de unos 1600 C. Estas partículas no se funden a una temperatura umbral dada y sólo fallan gradualmente en condiciones de accidente; Por lo tanto, no se puede producir una liberación súbita de los productos de fisión.

Los futuros trabajos de desarrollo de los HTGR se centrarán en los estudios para mejorar el comportamiento y prolongar la vida útil de las centrales.

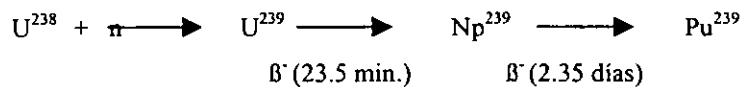
**"Reactores de Regeneración Rápida ó Generadores"**  
**(Reactores de segunda generación)**

**6.7 Reactores de Regeneración Rápida.**

La crisis de energía ha demostrado con claridad que no se pueden utilizar en forma indefinida las actuales fuentes energéticas. Sin embargo, existe otra fuente de energía que parece un tanto ilimitada el reactor de regeneración rápida, que está ampliando nuestras limitadas reservas de uranio que se estima durará tal vez algunas décadas.

Los reactores de agua liviana (reactores de primera generación) derrochan uranio. Sólo pueden consumir una forma dada de uranio, el  $U^{235}$ , que comprende sólo el 0.7% de todo el uranio natural. Por el contrario, el reactor generador consume todo el uranio, en especial  $U^{238}$ , que representa un 99.3% de todo el uranio natural.

Los reactores generadores prometen una energía que parece ser una extensión con respecto al tiempo para los reactores de fisión nuclear, al convertir el  $U^{238}$  en  $Pu^{239}$  que es fisionable. De esta manera, se convierte el uranio de desecho en un combustible valioso transformándose de la siguiente forma:



Los reactores rápidos utilizan neutrones rápidos en apoyo del proceso de fisión, contrariamente a los reactores refrigerados por agua y por gas, los cuales utilizan neutrones térmicos. Los reactores rápidos se conocen también generalmente como reproductores, ya que producen combustible, además de consumirlo. La reproducción de plutonio **permite a los reactores rápidos extraer 60 veces más energía del uranio** que los reactores térmicos por lo que podrían resultar económicos y ventajosos para los países que no disponen de abundantes recursos de uranio. El mayor despliegue de la energía nucleoelectrónica en los decenios venideros conducirá probablemente a un agotamiento de los recursos de uranio, y **puede que en la primera mitad del próximo siglo sea necesario recurrir a los reactores reproductores para producir material fisionable.**

En el espectro de neutrones rápidos presentes en tales reacciones, todos los elementos transuránicos se vuelven fisionables, por lo que los reactores rápidos podrían contribuir igualmente al quemado del plutonio procedente de la explotación de otros tipos de reactores y del desmantelamiento de las armas nucleares, así como a la disminución del inventario total de transuránicos dentro del macrosistema, **transmutándolos en energía y productos de fisión**; La reelaboración y el reciclado del combustible en los reactores rápidos permitirá el quemado de los radisótopos transuránicos de período muy largo, reduciendo considerablemente el tiempo de aislamiento requerido en el caso de los desechos de actividad alta.

Los **reactores rápidos están refrigerados normalmente por metal líquido (sodio)**, ya que es necesario utilizar un refrigerante que no desacelere los neutrones (como el agua) ni los capture cuando viajan por el refrigerante. Algunos de los refrigerantes típicos son el sodio, el potasio y el mercurio, solo que estos dos

últimos son más caros, de ahí el término de reactor de regeneración rápida de metal líquido (LMFR ó LMFBFR Liquid Metal Fast Breeder Reactor).

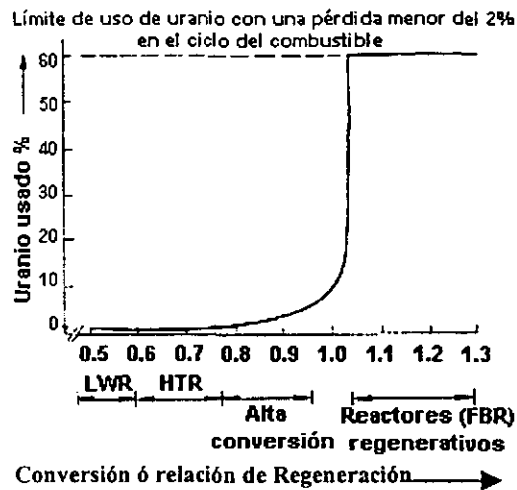
Se han diseñado, construido y explotado con éxito centrales LMFR, tales como el BN-600 en Rusia, el Superphénix de 1200 MWe en Francia, y el Monju de 280 MWe en el Japón.

Los nuevos trabajos de desarrollo de los reactores rápidos se centran en los requisitos económicos y de seguridad revisadas para la próxima generación de centrales nucleares. Prosiguen igualmente los trabajos encaminados a mejorar el grado de quemado y la tecnología de reciclado del combustible, a fin de reducir las cantidades de desechos radiactivos producidos en las centrales.

Actualmente se encuentran en estudio varios tipos distintos de LMFR, así como el empleo más amplio de sistemas pasivos para lograr una mayor seguridad; entre éstos se encuentran el BN-800M de Rusia, el DFBR del Japón, y el PFBR de la India. También existe un diseño de LMFR avanzado de pequeña y mediana potencia, desarrollado por la General Electric de los Estados Unidos de América. Este concepto de ALMR incorpora dispositivos de seguridad pasiva, e incluye **instalaciones de gestión y reelaboración de desechos, así como la fabricación de combustible en el emplazamiento de la central, formando un sólo parque nuclear a fin de minimizar los riesgos de proliferación de materiales fisionables.** Entre otros reactores rápidos avanzados figura el reactor rápido europeo (EFBR), que podría llegar a ser ampliamente utilizado para el reciclado de plutonio y la producción de electricidad.

### 6.7.1 Ventajas de los Reactores de Regeneración Rápida.

- Consume todo el uranio, en especial  $U^{238}$ , que representa un 99.3% de todo el uranio natural.
- Producen más combustible del que consumen ya que a diferencia de los reactores térmicos, mientras que en estos el  $U^{235}$  se fisiona, en los reactores regenerativos ocurre una fisión ya que el  $U^{238}$  se transforma en  $Pu^{239}$ .
- La producción de plutonio permite a los reactores rápidos (fast breeder reactor) **extraer 60 veces más energía del uranio** que los reactores térmicos (LWR y HTGR ó HTR) por lo que podrían resultar económicos y ventajosos para los países que no disponen de abundantes recursos de uranio.



**Gráfica No. 6.1 Porcentaje del Uso de Uranio vs. Conversión ó relación de regeneración.**

Fuente: Encyclopedia of Industrial Chemistry, ULLMAN'S, 1996, Vol.A 17, pág. 705.  
Nota: La relación de regeneración esta dada en base al plutonio que se alimenta y el producido.  
Para el reactor Francés Superphénix de 1200Mwe se tiene una regeneración de 1.2

- Los reactores térmicos solo aseguran la materia prima por algunas décadas, mientras que los regenerativos varios siglos.
- No requieren de la inversión en plantas de enriquecimiento superan varios miles de millones de dólares que exigen grandes espacios para su construcción, y además de que consumen una gran cantidad de energía durante el proceso.
- Existe un ahorro ya que el combustible no se tiene que enriquecer, solo mezclar el plutonio con el  $U^{238}$ .
- El plutonio es una fuente para poder almacenar energía.



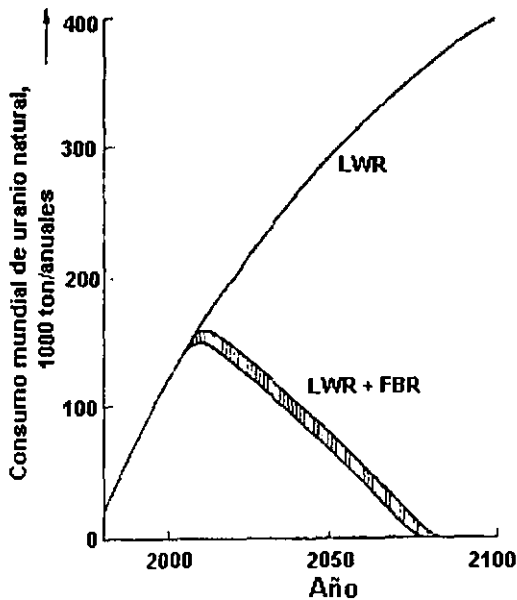
### 6.7.2 Desventajas.

- Se produce plutonio que está considerado dentro de uno de los sólidos más tóxicos en el mundo.
- El uranio se ha podido confinar mediante técnicas de vitrificación pero para el plutonio, por el momento no existe alguna forma segura de confinamiento.

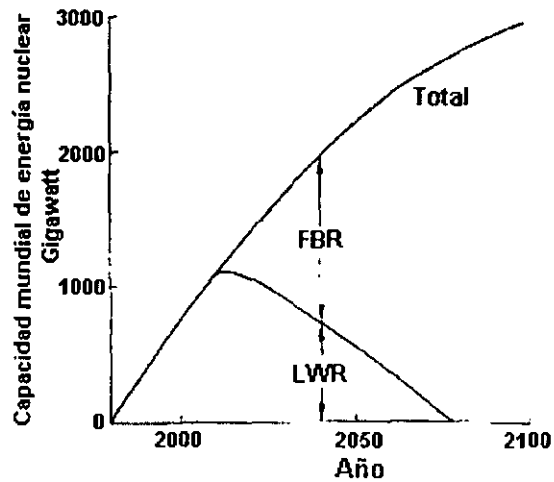
Pueden representar un problema de **seguridad mundial** ya que producen plutonio que podría ser usado para la fabricación de armas nucleares.

Habrà de esperar a que surja un **nuevo tipo de reactor** (reactores de tercera o cuarta generación dependiendo de que surja primero comercialmente con respecto a los reactores de fusión nuclear) en el cual se pueda llevar a cabo la **fisión del plutonio**; ya que incluso los reactores térmicos también producen plutonio aunque en baja cantidad ya que usan uranio  $U^{238}$  que es susceptible a convertirse en  $Pu^{239}$  enriquecido con  $U^{235}$ .

### 6.8 Tendencias de los Reactores LWR Y FBR a futuro y capacidad instalada.



Gráfica No. 6.2 Consumo Mundial Anual de Uranio Natural en Reactores Tipo LWR y FBR



Gráfica No. 6.3 Capacidad Mundial de Energía Nuclear

Fuente: Encyclopedia of Industrial Chemistry, ULLMAN'S, 1996, Vol.A 17, pág. 706.

En la gráfica 6.2 si se incrementara el tipo de reactores LWR a partir del 2010 la demanda de uranio se dispararía, poniendo en serios aprietos en muchos países ya que la producción de este recurso no podría satisfacerse pues las plantas de enriquecimiento no pueden trabajar más rápido, y la inversión en estas es muy caro. Mientras que con los reactores regenerativos no existe este problema.

En la gráfica 6.3 según las proyecciones, entre el 2010 y 2015 los reactores regenerativos irán sustituyendo y compensando la generación de energía eléctrica provenientes de reactores térmicos (LWR), siempre y cuando otros países opten por ello.

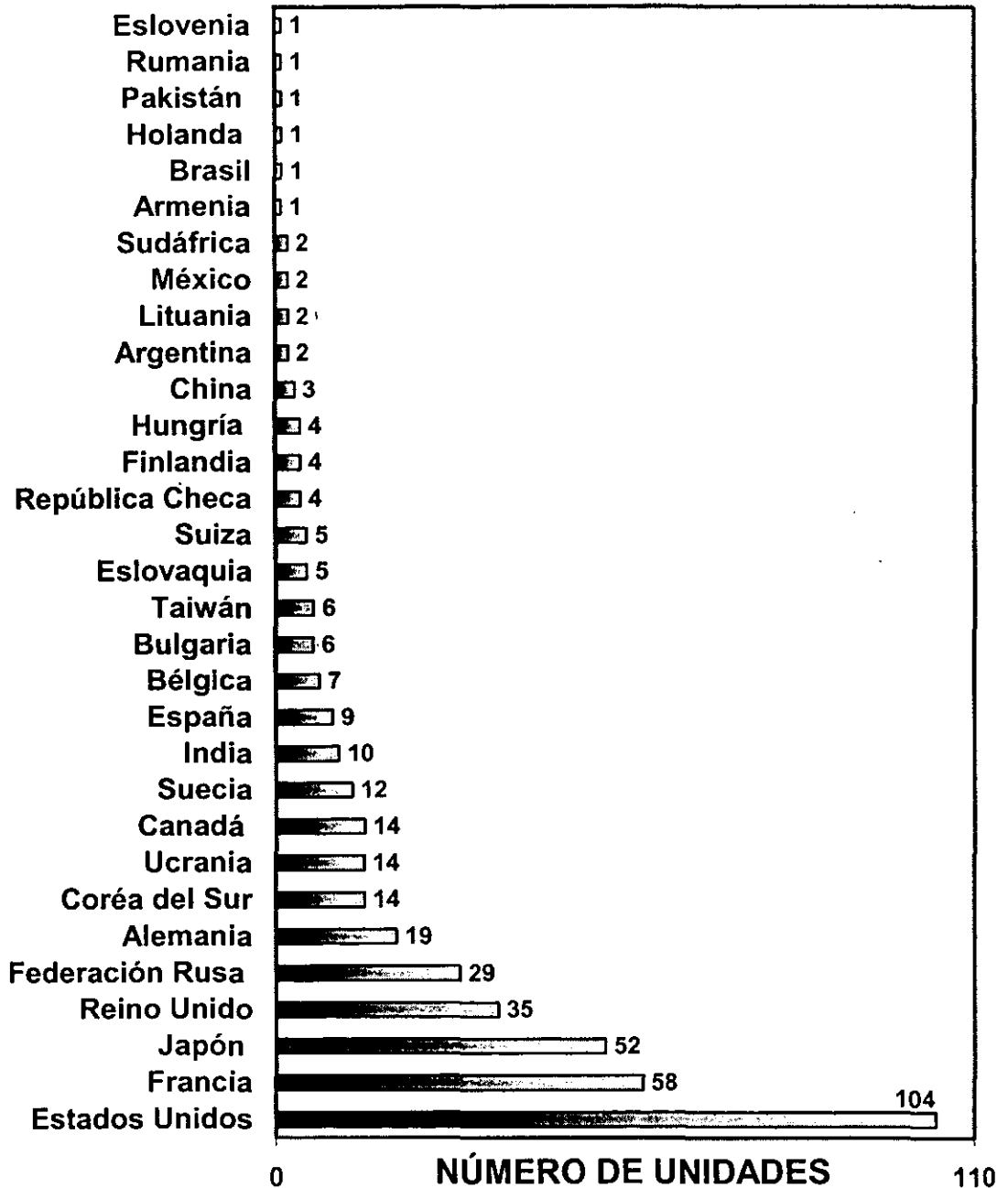
*El dilema de la energía*  
 Capítulo VI "Energía Nuclear de Fisión"

TABLA No. 6.1 PAÍS	Reactores en Operación en 1999		Reactores sin Operar en 1999		Reactores en construcción		REACTORES Construcción suspendida	
	No.	MWe netos	No.	MWe netos	No.	MWe netos	No.	MWe netos
Argentina	2	945	-	-	1	692	-	-
Armenia	1	376	1	376	-	-	-	-
Bélgica	7	5 713	-	-	-	-	-	-
Brasil	1	626	-	-	1	1 245	-	-
Bulgaria	6	3 526	-	-	-	-	-	-
Canadá	14	10 298	8	5 136	-	-	-	-
China	3	2 100	-	-	4	3 000	-	-
Cuba	-	-	-	-	-	-	2	816
República Checa	4	1 648	-	-	2	1 824	-	-
Finlandia	4	2 550	-	-	-	-	-	-
Francia	58	61 723	-	-	1	1 450	-	-
Alemania	19	21 044	1	1 219	-	-	-	-
Hungría	4	1 720	-	-	-	-	-	-
India	10	1 777	-	-	6	1 720	-	-
Irán	-	-	-	-	1	950	1	950
Japón	52	43 249	1	246	1	796	-	-
Kazajstán	-	-	-	-	-	-	-	-
Corea del Sur	14	11 380	-	-	6	5 450	-	-
Lituania	2	2 500	-	-	-	-	-	-
México	2	1 308	-	-	-	-	-	-
Holanda	1	449	-	-	-	-	-	-
Pakistán	1	125	-	-	1	300	-	-
Rumania	1	630	-	-	-	-	4	2 520
Rusia	29	19 843	-	-	3	2 825	7	6 628
Eslovaquia	5	2 025	-	-	1	405	2	810
Eslovenia	1	620	-	-	-	-	-	-
Sudáfrica	2	1 840	-	-	-	-	-	-
España	9	7 394	-	-	-	-	-	-
Suecia	12	9 925	-	-	-	-	-	-
Suiza	5	3 122	-	-	-	-	-	-
Taiwán	6	4 884	-	-	-	-	-	-
Reino Unido	35	12 996	-	-	-	-	-	-
Ucrania	14	12 153	-	-	2	1 906	3	2 859
EUA	104	96 977	2	1 935	-	-	6	7 293
<b>Total</b>	<b>428</b>	<b>345 466</b>	<b>13</b>	<b>8 912</b>	<b>30</b>	<b>22 563</b>	<b>25</b>	<b>21 876</b>

Fuente: © The Uranium Institute, IAEA; Internet <http://www.uilonon.org>

Notas: Están incluidos los siguientes reactores de regeneración rápida: Super Phenix FBR de Francia, el Aktau de kazajstán y los Browns Ferry 1 y 2 de EUA

### REACTORES NUCLEARES EN OPERACIÓN EN 1999

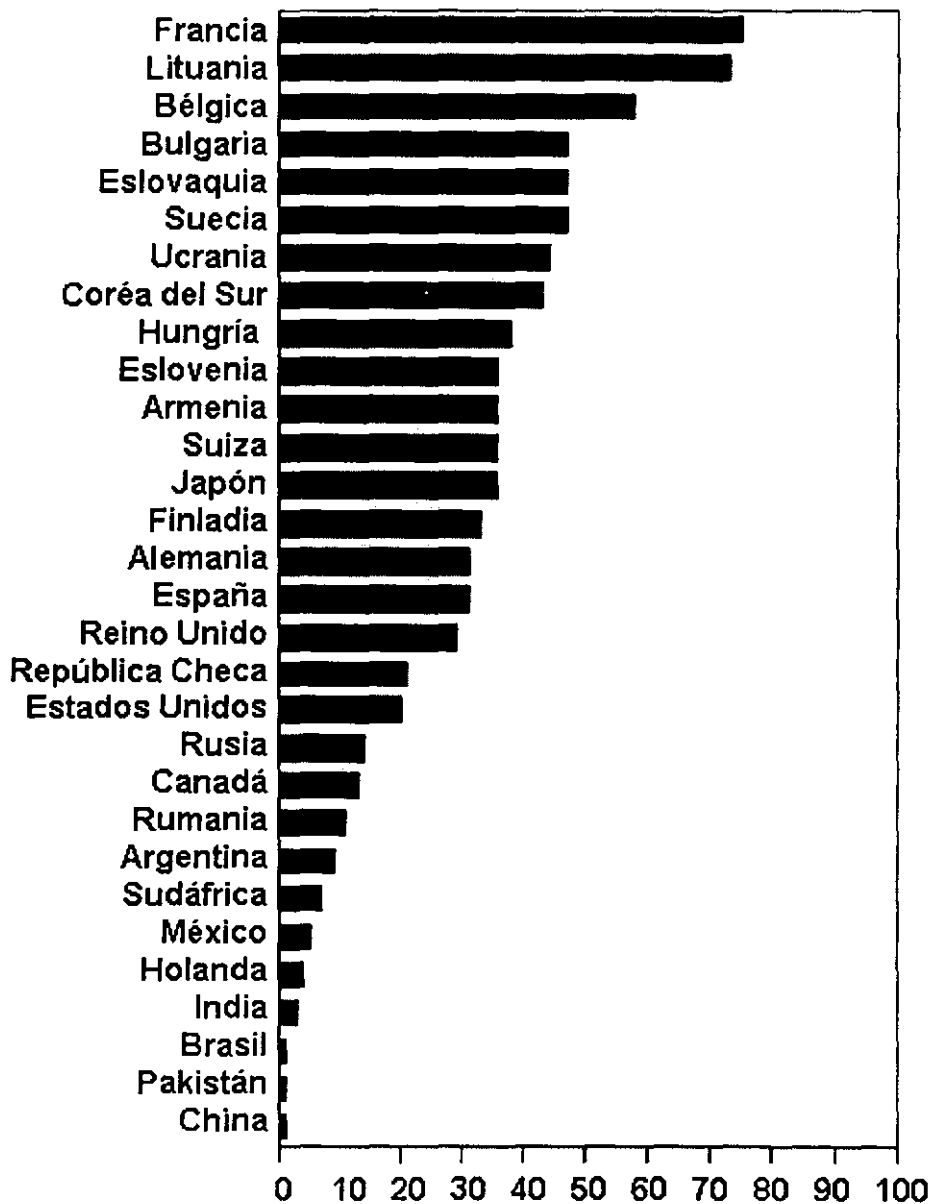


Gráfica No. 6.4

Fuente: International Atomic Energy Agency, Nuclear Power Reactors in the World 1999 (Viena Austria, Abril 2000)

En 1999 el consumo mundial de energía en este sector fue de 2.3 billones de kilowatt-hora, representando el 16% de con respecto a otras fuentes, del cual 40% fue producido en 9 países.

El porcentaje de energía nuclear producido por países que poseen dicha tecnología con respecto a otras fuentes de energía en cada país, fue la siguiente.



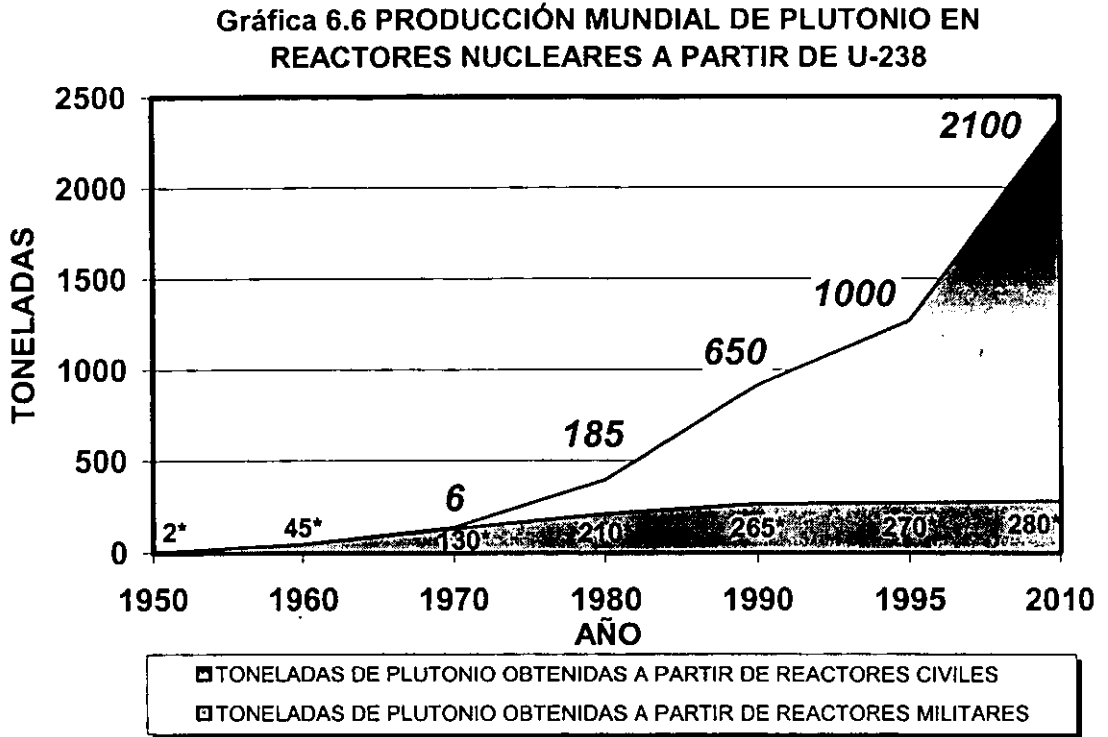
Gráfica No. 6.5 Porcentaje de generación de energía eléctrica de reactores nucleares con respecto al total generado en cada país en 1999

Fuente: International Atomic Energy Agency, *Nuclear Power Reactors in the World 1999* (Viena, Austria, April 2000).

Cabe mencionar que Estados Unidos a pesar de que cuenta con 104 reactores nucleares en funcionamiento, esto solo le representó el 20% de la cantidad de energía generada en 1999.

### 6.9 Producción mundial de plutonio a partir de reactores nucleares.

Como puede observarse en la siguiente gráfica, la producción de Plutonio se ha ido incrementando de forma muy notoria.



Fuentes: 1) Internet <http://www.ieer.org/ensec/no-1/puuse.html> Arjun Makhijani and Scott Saleska, *The Nuclear Power Deception* (Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, 1996.); 2) Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, fourth edition 1996, «Plutonium and Plutonium Compounds», Vol. 19, pág. 408.

Desde el punto de vista energético, un kilogramo de  $U^{235}$  o de  $Pu^{239}$  puede liberar una energía equivalente a 20 kilotones (20,000 toneladas) de TNT (Trinitrotolueno) ó la bomba que estalló en Hiroshima; Por lo que si se espera una producción mundial de 2100 toneladas para el 2010, esto equivaldría a tener almacenado 42 GT (gigatonnes) ó 2.1 millones de bombas tipo la de Hiroshima.

Visto de otro modo 20,000 toneladas de TNT da  $9.128 \times 10^{13} J$  así que 42 Gigatonnes esperadas para el 2010 equivaldrían a  $1.91 \times 10^{20} J$  ó 33 billones de barriles de petróleo.

Como puede verse, a pesar de que el plutonio representa un problema ecológico y de seguridad mundial, no puede descartarse para generar energía a futuro, por lo que en este sentido, los reactores de regeneración rápida podrían ser una alternativa para poder generar energía empaquetada en forma de Plutonio, en espera de un nuevo tipo de reactor o tecnología capaz de poder aprovechar dicho recurso.

### 6.10 Armas nucleares provenientes de Reactores Civiles de Regeneración Rápida (FBR).

Al hablar de Reactores Nucleares no se puede dejar de hablar del aspecto militar, ya que si bien un reactor puede ser civil, su desecho puede ser usado con fines bélicos.

Hace mucho tiempo, el poder tener acceso a armas nucleares grado Uranio era casi imposible, ya que se requería una gran inversión para la construcción de plantas de enriquecimiento, así como contar con ricos yacimientos de dicho elemento.

Pero en la actualidad se corre el riesgo de que dicha tecnología caiga en manos peligrosas ya que con el avance del rayo láser se podría separar más fácilmente el  $U^{235}$  en sistemas que incluso podrían llegar a ser portátiles dentro de algunos años.

El otro gran riesgo y es por donde muchos gobiernos se han ido es que: si bien principios de los años cuarenta no se conocía el plutonio, hoy el hombre es capaz de fabricarlo y a un ritmo muy acelerado, proveniente de instalaciones que ya no necesitan ser militares.

La ventaja de Plutonio como uso en armas nucleares se encuentra en que se necesitan cantidades mucho menores que de uranio como se verá a continuación.

Elemento ó Mezcla	Masa crítica	Diámetro	Reflector o espejo Infinito de Be ó $U^{238}$
$U^{235}$ puro	41.6kg	16.1 cm	Sin Reflector
$U^{235}$ puro	14.3kg	11.3 cm	Con Reflector
$Pu^{239}$ puro	18.0 kg	13.0 cm	Sin Reflector
75% $Pu^{240}$ , 12% $Pu^{241}$ 10% $Pu^{240}$ y 3% $Pu^{242}$ Esta composición es típica del plutonio procedente de un reactor Térmico de agua ligera.	19.7 kg	13.4 cm	Sin Reflector
$Pu^{239}$ puro	5 kg aprox. (masa subcritica) con un buen detonante exterior (TNT)	8.5 cm	Sin reflector
Mezcla $U^{235}$ $Pu^{239}$	5-7kg $U^{235}$ y aprox. 2.8 $Pu^{239}$	9.2-9.9 cm	Con Reflector.

Nota el plutonio puede detonar desde 1 kg con un excelente detonante exterior siempre y cuando se asegure un completo consumo del material fisible ya que por lo general este tipo de armas solo consumen el 10% de material fisible.

Como puede verse los requerimientos la fabricación de un arma nuclear grado plutonio son menores, además de que la obtención de este es más fácil y rápida con respecto a las de  $U^{235}$ .

País ó Región	Uranio enriquecido >93% $U^{235}$	Porcentaje del total
China	15	1.15
Francia	15	1.15
Reino Unido	10	0.76
ExURSS	720	54.96
EUA	550	41.98
<b>Total</b>	<b>1310</b>	<b>100.00</b>

Nota: Desde luego no incluye países con poco arsenal como la India Corea del Norte entre otros.

Esto quiere decir que si suponemos 1310 toneladas de Uranio-235 al 97% o sea 1270.7 toneladas, si en un reactor nuclear se necesita solo un enriquecimiento del 3% de  $U^{235}$ , esta cantidad rinde para producir 42,356 toneladas de combustible  $UO_2$  grado reactor y si tomamos como un máximo promedio 95 toneladas requeridas por reactor con una duración promedio de 3 años; esto podría alimentar a 445 reactores nucleares o sea a todos los existentes en operación (428-432 ya que durante el 2000 entraron en operación otros).

Un último aspecto que hace riesgoso manejar dicha tecnología es que la gente se puede corromper fácilmente favoreciendo a la proliferación de armas nucleares ya que uno de los elementos más caros en la tierra es el plutonio como se verá en la siguiente tabla. Algunos de los países en los cuales se corre este riesgo es en la ExURSS donde atraviesan serios problemas económicos.

### 6.11 Costos de Uranio enriquecido y plutonio grado reactor.

<b>Tabla 6.4 Costos de combustible</b>		
<b>US \$ de Uranio enriquecido de 3.5% (<math>U^{235}</math>) para reactores de agua liviana</b>		
$U_3O_8$	8 kg x \$25	US\$ 200
Conversión a $UO_2$ (uranilo)	7 kg U x \$2.5	US\$ 18
Enriquecimiento (pasar de 0.72% al 3.5% de $U^{235}$ el resto es $U^{238}$ )	4.3 SWU x \$80	US\$ 344
Fabricación de las barras combustible ( $UO_2$ enriquecido)	1 kg	US\$ 240
Total aproximado	Por kg	US\$ 800
Total	Por tonelada	US\$ 800,000
Para un reactor (LWR)	100 toneladas	US\$ 80,000,000

**Fuente:** Internet <http://www.uic.com.au/nip08.htm> datos publicados en el año 2000  
**Nota:** Es común encontrar que los reactores nucleares tienen requerimientos de 100 toneladas de combustible cada 3 años, el cual cada año se suple el 33% de este.  
**Nota (2):** SWU (separative work units) es la medida de cantidad de esfuerzo físico requerido para separar los isótopos del uranio y generalmente se expresa en kg. Por ejemplo, los recursos básicos utilizados para producir una determinada cantidad de uranio enriquecido a un nivel determinado, son la alimentación que se suministra y los servicios de enriquecimiento, o esfuerzo de trabajo de separación aplicado a dicha alimentación.

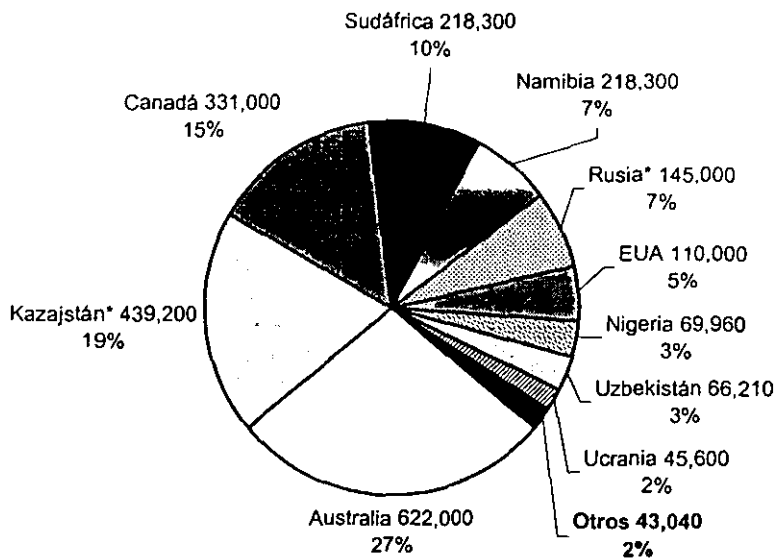
<b>Tabla No. 6.5 Costos del Plutonio.</b>			
Isótopo	Pureza	U.S. dólares por miligramo	Millones de U.S. dólares por Tonelada
Pu-238	97%	8.25	8.25
Pu-239	>99.99	4.65	4.65
Pu-240	>95%	5.45	5.45
Pu-241	>93	14.7	14.7
Pu-242	>93	19.75	19.75

**Fuente:** Internet <http://www.fas.org/nuke/hew/Nwfaq/Nfaq6.html> costos Septiembre de 1998.  
**Nota:** Los precios son muy estables, no es como el petróleo por lo que se acercan mucho a los precios actuales.



**6.12 Reservas producción y consumo mundial de Uranio.**

**RESERVAS PROVADAS DE URANIO 1999 (Toneladas)**

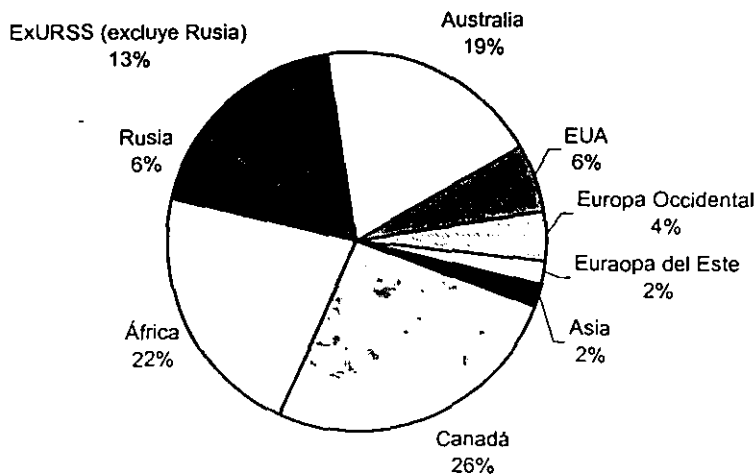


**Gráfica No. 6.7**

Fuente: © The Uranium Institute 2000

Nota: \*Estimaciones hechas por el Uranium Institute

**PRODUCCIÓN MUNDIAL DE URANIO 1999**



**Gráfica No. 6.8**

Fuente: © The Uranium Institute 2000

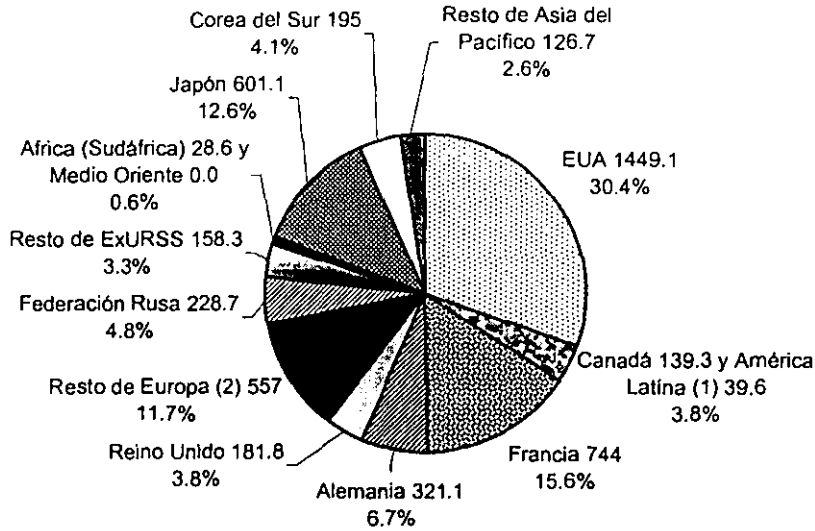
Nota: \*Estimaciones hechas por el Uranium Institute

**Tabla No. 6.6 Producción y Reservas de Uranio 1999**

<b>País</b>	<b>Producción 1999 (toneladas de Uranio)</b>	<b>Capacidad (toneladas de Uranio) al 31/12/99</b>	<b>Reservas de Uranio (toneladas de U) costos &lt; US\$80/kg<sup>1</sup></b>
Argentina	28	150	4 600
Australia	5 979	7 350	622 000
Canadá	8 214	11 500	331 000
China*	500	1 000	na
República Checa	612	680	6 630
Francia	439	1 000	13 460
Gabón	294	650	6 030
Alemania	33	50	na
Hungría	10	20	370
India	200	250	na
Kazajstán*	1 390	1 500	439 200
Namibia	2 689	3 850	156 120
Nigeria	2 918	3 700	69 960
Pakistán*	23	30	na
Portugal	10	40	7 300
Rumania*	100	100	na
Rusia*	2 000	2 500	145 000
Sudáfrica	981	2 000	218 300
España	255	800	4 650
Ucrania*	500	1 000	45 600
EUA	1 807	2 500	110 000
Uzbekistán	2 130	2 500	66 210
<b>Total</b>	<b>31 072</b>	<b>43 170</b>	<b>2 246 430</b>

Fuentes: Uranium Institute, OECD/NEA © The Uranium Institute 2000  
 Notas: <sup>1</sup> costos del uranio sin enriquecer; \* Estimado realizado por el Uranium Institute

**CONSUMO DE ENERGÍA NUCLEAR 1999**  
(Equivalente en millones de barriles de petróleo)



**Gráfica No. 6.9**

Fuente: Internet (<http://www.bp.com/worldenergy/nuclear/index.htm>) datos reportados a mediados de año 2000.

Notas: (1) solo son México, Argentina y Brasil; (2) Excluye a la ExURSS; Medio Oriente por el momento no usa tecnología nuclear.

**TABLA No. 6.7 CONSUMO DE ENERGÍA NUCLEAR\* 1999**  
(equivalente en millones de barriles de petróleo)

PAÍS O REGIÓN	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Variación para 1998-1999	Porcenta Total de
EUA	1054.1	1148.6	1219.7	1232.2	1215.3	1274.7	1340.7	1342.9	1251.2	1341.4	<b>1449.1</b>	8.0%	<b>30.4%</b>
Canadá	151.0	137.8	160.5	152.5	177.4	203.8	184.7	175.2	156.1	135.6	139.3	2.8%	2.9%
México	0.7	5.9	8.1	7.3	9.5	8.1	16.1	14.7	19.8	17.6	19.1	8.7%	0.4%
<b>Total de Norte América</b>	<b>1205.8</b>	<b>1292.3</b>	<b>1388.3</b>	<b>1392.0</b>	<b>1402.2</b>	<b>1486.5</b>	<b>1541.5</b>	<b>1532.7</b>	<b>1427.2</b>	<b>1494.6</b>	<b>1607.5</b>	7.6%	33.7%
Argentina	9.5	13.9	14.7	13.2	14.7	15.4	13.2	13.9	15.4	13.9	13.2	-4.9%	0.3%
Brasil	3.7	4.4	2.9	3.7	0.7	†	5.1	4.4	5.9	5.9	7.3	21.7%	0.2%
Otros de Cent. y Sud-América	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Total de Cent. y Sud-América</b>	<b>10.2</b>	<b>18.3</b>	<b>17.6</b>	<b>16.9</b>	<b>15.4</b>	<b>15.4</b>	<b>18.3</b>	<b>18.3</b>	<b>21.3</b>	<b>19.8</b>	<b>20.5</b>	3.2%	0.5%
Bélgica y Luxemburgo	77.7	80.6	81.4	82.1	79.2	77.0	78.4	82.1	89.4	87.2	92.4	5.7%	1.9%
Bulgaria	27.9	27.9	24.9	22.0	26.4	29.3	33.0	34.5	33.7	30.8	28.6	-6.2%	0.6%
República Checa	23.5	23.5	22.7	23.5	24.2	24.2	23.5	24.2	23.5	24.9	24.9	1.4%	0.5%
Finlandia	35.9	35.9	36.7	35.9	37.4	36.7	35.9	37.4	39.6	41.8	44.0	5.2%	0.9%
Francia	574.7	593.7	626.7	639.9	696.4	681.0	713.2	751.3	747.7	730.1	<b>744.0</b>	1.9%	15.6%
Alemania	305.7	288.1	279.3	300.5	290.3	285.9	291.7	305.7	321.8	305.7	321.1	5.0%	6.7%
Hungria	26.4	25.7	25.7	26.4	26.4	26.4	26.4	27.1	26.4	26.4	26.4	1.1%	0.6%
Holanda	7.3	6.6	6.6	7.3	7.3	7.3	7.3	8.1	4.4	7.3	6.6	-5.0%	0.2%
Rumania	--	--	--	--	--	--	--	2.9	10.3	10.3	9.5	-2.0%	0.2%
Eslovaquia	22.7	22.7	22.0	21.3	22.7	22.7	22.0	21.3	20.5	21.3	24.9	15.1%	0.5%
España	106.3	102.6	104.8	105.6	106.3	104.8	104.8	106.3	104.8	111.4	111.4	-0.2%	2.3%
Suecia	123.9	129.0	145.1	120.2	115.8	138.5	132.7	138.5	131.9	133.4	132.7	-0.4%	2.8%
Suiza	43.2	44.7	43.2	44.7	44.0	46.2	46.9	47.6	48.4	49.1	46.9	-3.5%	1.0%
Reino Unido	135.6	124.6	133.4	145.1	169.3	167.1	168.6	178.9	185.4	189.1	181.8	-3.9%	3.8%
Otros de Europa	8.8	8.8	9.5	7.3	7.3	8.8	8.8	8.8	9.5	9.5	8.8	-6.3%	0.2%
<b>Total de Europa</b>	<b>1519.5</b>	<b>1514.4</b>	<b>1562.0</b>	<b>1581.8</b>	<b>1652.9</b>	<b>1655.8</b>	<b>1693.2</b>	<b>1774.6</b>	<b>1797.3</b>	<b>1778.3</b>	<b>1803.9</b>	1.5%	<b>37.8%</b>
Kazajstán	†	--	0.7	0.7	0.7	0.7	†	†	0.7	--	--	--	--
Federación Rusa	258.0	223.6	227.2	226.5	225.8	184.7	187.6	206.0	204.5	197.2	228.7	16.3%	4.8%
Ucrania	126.1	144.4	142.2	139.3	142.2	130.5	133.4	150.3	150.3	142.2	135.6	-4.7%	2.8%
Otros de la ExURSS	33.7	32.3	32.3	27.9	23.5	14.7	22.7	30.8	25.7	28.6	22.7	-19.9%	0.5%
<b>Total de la ExURSS</b>	<b>417.8</b>	<b>400.2</b>	<b>402.4</b>	<b>394.4</b>	<b>392.2</b>	<b>330.6</b>	<b>343.8</b>	<b>387.0</b>	<b>381.2</b>	<b>368.0</b>	<b>387.0</b>	5.3%	8.1%
Sudáfrica	22.0	16.9	18.3	18.3	14.7	19.1	22.7	23.5	24.9	27.1	28.6	5.4%	0.6%
<b>Total de África y Medio Oriente</b>	<b>22.0</b>	<b>16.9</b>	<b>18.3</b>	<b>18.3</b>	<b>14.7</b>	<b>19.1</b>	<b>22.7</b>	<b>23.5</b>	<b>24.9</b>	<b>27.1</b>	<b>28.6</b>	5.4%	0.6%
China	--	--	--	0.7	2.9	26.4	24.2	27.1	27.1	28.6	30.1	4.8%	0.6%
India	7.3	12.5	10.3	12.5	11.7	9.5	14.7	16.1	19.1	21.3	24.2	12.8%	0.5%
Japón	353.3	370.2	395.8	411.9	469.9	490.4	544.6	562.9	608.4	618.7	601.1	-2.9%	12.6%
Pakistán	--	0.7	0.7	0.7	0.7	1.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	-80.2%	†
Corea del Sur	89.4	99.7	106.3	107.0	110.0	110.7	126.8	140.0	145.9	169.3	195.0	14.9%	4.1%
Taiwán	53.5	62.3	66.7	63.8	65.2	66.0	66.7	71.1	68.9	68.9	72.6	5.2%	1.5%
Otros de Asia del Pacífico	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Total de Asia del Pacífico</b>	<b>503.6</b>	<b>545.4</b>	<b>579.8</b>	<b>596.7</b>	<b>660.4</b>	<b>704.4</b>	<b>777.7</b>	<b>818.0</b>	<b>870.1</b>	<b>907.5</b>	<b>922.8</b>	1.6%	19.3%
<b>Balance Mundial</b>	<b>3681.9</b>	<b>3787.4</b>	<b>3968.5</b>	<b>4000.0</b>	<b>4137.8</b>	<b>4211.8</b>	<b>4397.3</b>	<b>4554.1</b>	<b>4521.9</b>	<b>4595.2</b>	<b>4770.4</b>	3.8%	<b>100.1%</b>
OCDE	3108.7	3217.1	3396.0	3442.2	3578.5	3682.6	3842.4	3942.8	3904.7	3989.0	4135.6	3.7%	86.7%
15 de la Unión Europea	1367.0	1361.2	1414.0	1436.7	1501.9	1498.3	1532.7	1608.2	1625.1	1606.0	1633.9	1.7%	34.2%
Otros de la EME†	96.0	110.7	113.6	112.9	110.7	137.8	147.3	156.9	162.0	166.4	175.9	5.5%	3.7%

Fuente: Internet (<http://www.bp.com/worldenergy/nuclear/index.htm>) datos reportados a mediados de año 2000.

Nota: Los datos originales están en base a toneladas de petróleo, pero para entender mejor los datos se recalcularon en base a barriles de petróleo anuales

\*Promedio de la eficiencia Térmica En plantas nucleares modernas (33% eficiencia)

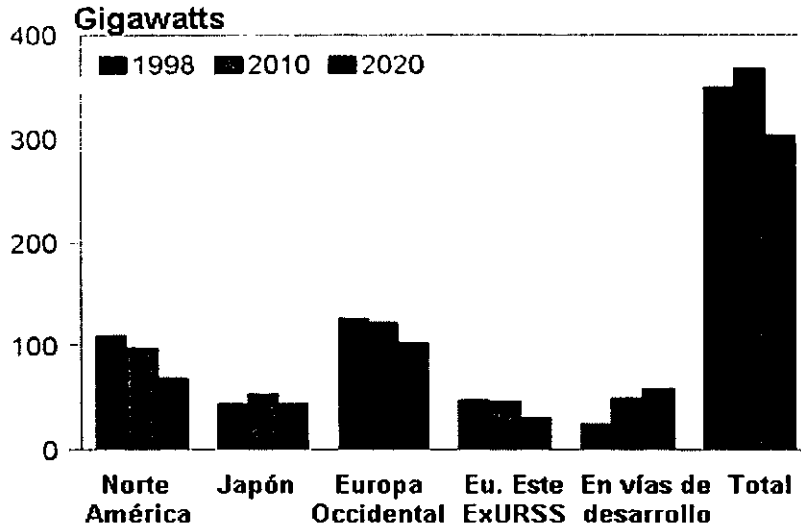
† Menos de 0.05.

*El dilema de la energía*  
*Capítulo VI "Energía Nuclear de Fisión"*

e Europa Central y ExURSS

**6.13 Perspectivas de la energía nuclear al 2020.**

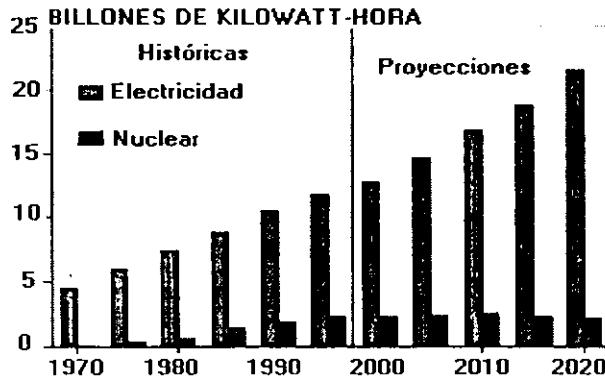
En los próximos 20 años, la demanda de energía en este sector tendrá un incremento esperado de 2.5 anual. Aunque en algunos países se empezará a observar un decremento del uso de dicha tecnología, como es Suecia, en otros se observará un crecimiento bastante notorio, como en Francia y algunos países en vías de desarrollo. Pero aun así, para el 2020, se espera un decremento en la generación de energía eléctrica aunque con la puesta en operación de los reactores de regeneración podría ser para algunos países una alternativa que crean que les podrá ayudar a satisfacer los requerimientos energéticos en dicho país.



**Gráfica No. 6.10 Capacidad de Generación de energía eléctrica por Región hasta el 2020**

Fuentes: Histórica; International Atomic Energy Agency, *Nuclear Power Reactors in the World 1998* (Vienna, Austria, April 1999). Proyecciones: Basadas en los programas de energía nuclear.

Como puede verse en países en vías de desarrollo se espera un incremento en el uso de dicha tecnología, mientras que en Norteamérica se espera un notorio decremento ya que principalmente en EUA se le habrá dado impulso a otro tipo de tecnologías que trabajan con fuentes renovables.



**Gráfica No. 6.11 Consumo de electricidad con respecto a la producida en reactores nucleares para el período 1970-2020**

Fuente: Histórica: International Atomic Energy Agency, *Nuclear Power Reactors in the World 1998* (Vienna, Austria, April 1999). Proyecciones: Basadas en los programas de energía nuclear.

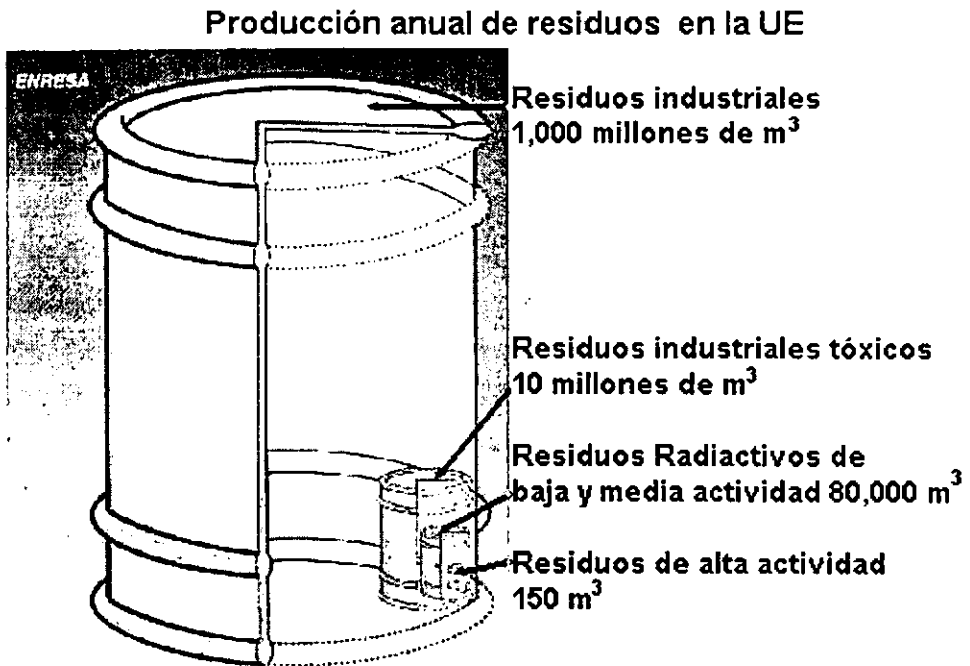
Se espera que la tecnología nuclear de fisión llegue a su clímax entre el 2010 y 2015 y posteriormente para el 2020 se podrá observar un decremento notorio, ya que para muchos países esta tecnología representa muchos problemas, sobre todo por los desechos generados así como por las presiones que ejerce la sociedad para el cierre de las mismas, aunque con la puesta en funcionamiento de los reactores regenerativos, existe la posibilidad de que se reactive esta industria.

#### **6.14 Productos de desecho.**<sup>7</sup>

Los productos de desecho de una planta pueden clasificarse como:

- **Materiales contenidos en elementos de combustible:** Estos elementos consisten en el reactivo gastado contenido en una estructura metálica que comprende los envases de combustible y las rejillas de soporte.
  
- **Reactores Nucleares:** Además del combustible gastado o desactivado, otros productos reactivos provienen de los propios reactores, y comprenden los desechos gaseosos (como Xenón y Kriptón) que pueden escapar del combustible defectuoso dentro del reactor, los desechos líquidos como el óxido de tritio, y los desechos sólidos como las resinas provenientes de las plantas de tratamiento de agua. Finalmente, cuando el reactor llega al término de su vida útil, se debe inhabilitar o poner fuera de servicio, además, los materiales estructurales habrán quedado ligeramente radiactivos.
  
- **Planta de Reprocesamiento:** Existe un cierto número de otros desechos que se originan en una planta de reprocesamiento, como sustancias orgánicas y acuosas que contienen niveles medios de actividad. Otros productos a eliminar son los residuos o restos de revestimiento y el material de soporte de los elementos de combustible que se llaman con frecuencia, cascotes ó cascos. Estos materiales a menudo se reducen en volumen por compactación o fusión y luego se introducen en concreto o betún (bitumen).  
También generan desechos con bajos niveles de contaminación activa, incluyendo guantes de goma, tejidos y envases de plástico. Algunos de estos materiales están contaminados con plutonio.
  
- **Planta de producción de combustible nuclear:** La producción de combustible plutonio origina desechos de bajo nivel de la misma naturaleza (guantes, envases, etc.) que la que se genera en una planta de procesamiento, junto con residuos o restos portadores de plutonio que aparecen en los procesos de producción del reactivo nuclear.

Para darnos idea de lo que representa la cantidad de desechos nucleares generados en la Unión Europea que cuenta con 145 reactores nucleares; se puede ver que es insignificante con respecto al daño producido por las emisiones de carbono generadas por fuentes de energía no renovables que superaron los 6,000 millones de toneladas tan sólo en el año 2000.



**Figura No. 6.4**

Fuente: Internet <http://www.angelfire.com/>



### 6.15 Opciones para la eliminación de Desechos Radiactivos.

Existen tres alternativas para tratar el combustible:

- 1) El combustible pasa por una planta de reprocesamiento, la cual permite reciclar el plutonio y el uranio, y produce un flujo de desechos líquidos altamente activos. Tal corriente puede ser pasada a una etapa de almacenamiento líquido seguida de la solidificación en una forma u otra, antes de conducirla a un almacén de superficie tecnificado, donde se mantiene aproximadamente 50 años. Por último el material de desecho se eliminaría depositándolo en **formaciones geológicas apropiadas yacimientos de sal ó en el fondo del mar** a una profundidad media de 5 Km.
- 2) El combustible gastado se almacena en el mismo sitio o fuera de él, en un almacén especial para combustibles gastado muy tecnificado, antes de su eliminación total.
- 3) Mandarlos al **espacio** con destino al sol, solo que el riesgo de un incidente como el Challenger podría provocar que se esparcieran los residuos.

Para muchas personas esta tecnología puede representar ser muy riesgosa pero si comparamos con una carboeléctrica de 1000 MWe que produce anualmente unas 300,000 toneladas de ceniza que contienen, entre otras cosas, materiales radiactivos y metales pesados que terminan en los vertederos y en la atmósfera. En cambio, los desechos radiactivos producidos por una central nuclear de la misma potencia ascienden solo a unas 800 toneladas de desechos de actividad baja y media y unas 30 toneladas de desechos de actividad alta al año, los cuales pueden aislarse de la biosfera.

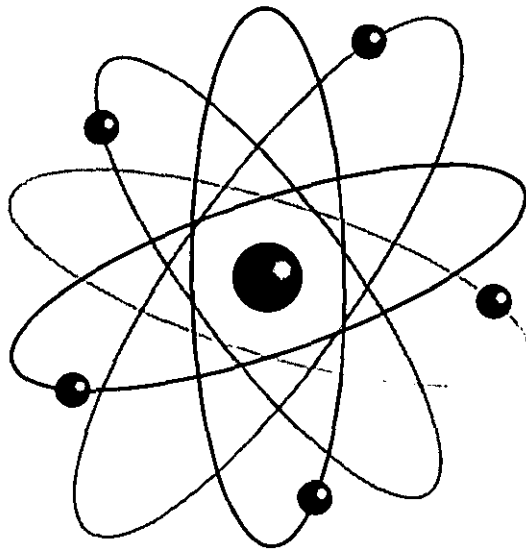
Además si bien en las plantas de energía nuclear han ocurrido accidentes como en cualquier industria, estas han ido acumulando una experiencia que sobrepasa los 7200 años reactor.

A pesar de lo antes mencionado, la tecnología nuclear sigue siendo una buena opción ya que no emite gases que favorezcan el efecto de invernadero, ya que estos son una seria amenaza a corto plazo, y el combustible durante los últimos años ha bajado considerablemente, además con el continuo consumo exorbitante de hidrocarburos, existe la posibilidad de que ante un nuevo replantamiento en las políticas mundiales para poder satisfacer la demanda de electricidad en algunos países pudiese darse el caso de que se instalen dichas plantas.

Lo más importante es que si uno va a tomar la decisión de la opción nuclear primeramente deberá evaluarse el aspecto económico, el aspecto ambiental y la seguridad que representa tanto para el entorno como para la no proliferación de armas grado plutonio.

# **Capítulo VIII**

## **Energía del Hidrógeno y Fusión Nuclear**



## CAPÍTULO VIII. "ENERGÍA DEL HIDRÓGENO Y FUSIÓN NUCLEAR" (Reactores de tercera generación)

### 8.1 HIDRÓGENO.

#### 8.1.1 Propiedades y usos potenciales.

El hidrógeno fue identificado por Cavendish en 1776 y su nombre se lo dio Lavoisier en 1783. En 1931.

Durante la década de 1950 empezó el interés sobre la importancia industrial del hidrógeno.

Existen tres factores esenciales que determinarán el ritmo de la tecnología energética del hidrógeno:

- 1) La forma en que paso a paso, sistemas y subsistemas orientados hacia el hidrógeno compitan económicamente y ambientalmente con otras propuestas de fuentes de energía, conservación y utilización.
- 2) El ritmo de avance tecnológico en campos afines, como la fusión nuclear, de los cuales pueden depender los sistemas de hidrógeno.
- 3) El ritmo de los esfuerzos unilaterales de sistemas orientados hacia el hidrógeno en cuanto a generación, transporte, conversión o utilización de ambas y seguridad.

El hidrógeno con símbolo H, peso atómico 1.00797 y número atómico 1, es el elemento más simple y ligero, es el noveno elemento en abundancia de los existentes en la tierra. La mayor parte se encuentra en el agua, que contiene 11.2% de hidrógeno, además, se encuentra en ácidos, bases, hidrocarburos, todos los organismos vivos y en la mayoría de los compuestos orgánicos.

El átomo de hidrógeno natural esta constituido por una mezcla de tres isótopos, de los cuales el nucleido H<sup>1</sup> (protio) o hidrógeno entra en la proporción de 99.98%; el hidrógeno H<sup>2</sup> llamado deuterio o hidrógeno pesado en proporción de 0.16% que fue descubierto en 1931 por Urey y el nucleido H<sup>3</sup> o tritio, es un isótopo radiactivo del hidrógeno con una semivida relativamente corta de 12.26 años, en una proporción infinitesimal del orden  $1 \times 10^{-7}$  que fue elaborado sintéticamente en 1934 por Rutherford, Oliphant y Harteck.<sup>1</sup>

Las moléculas de hidrógeno se disocian endotérmicamente en dos átomos a altas temperaturas (calor de disociación 103 cal / g mol) en un arco eléctrico por disociación, esta propiedad se usa para aplicarla en la soldadura en arco con hidrógeno atómico.

Su baja densidad 7% de la del aire, aunada a su alta conductividad térmica, 6.7 veces la del aire, le ha permitido su empleo como refrigerante. Su baja densidad reduce las perdidas por fricción a menos del 10% de las del aire, mientras su elevada conductividad térmica y capacidad calorífica permiten una transferencia de calor más eficiente. Esto da como resultado un incremento global de la eficiencia del generador en 1%. El alto calor de reacción del hidrógeno con oxígeno o flúor, junto con el bajo peso molecular de los gases producidos, han hecho del hidrógeno combustible principal para la propulsión de cohetes; debido a que el empuje de los cohetes se

incrementa en forma directamente proporcional con la temperatura e inversamente proporcional con el peso molecular de los gases de escape.

Este gas tiene un valor de calentamiento neto de sólo 275 Btu/pie<sup>3</sup> comparado con los 913 Btu/pie<sup>3</sup> del metano, la menor densidad y viscosidad del hidrógeno hacen posible enviar por ducto aproximadamente la misma cantidad de energía térmica que la del metano, con un costo de compresión un tanto mayor. La energía térmica del hidrógeno se puede quemar en calentadores no ventilados, siendo el agua el único producto de combustión primaria.

Una ventaja del hidrógeno como fuente de energía térmica, comparado con la electricidad, es que se puede almacenar para uso posterior, mientras que la electricidad hay que utilizarla conforme se genera. El hidrógeno, como el gas natural, se puede almacenar y transportar en forma líquida (a bajas temperaturas), o bien almacenar como gas en el subsuelo. También se puede almacenar como hidruro metálico como el LiAlH<sub>4</sub>. La absorción del hidrógeno por el metal es exotérmica y por el contrario, para liberar el hidrógeno hay que proporcionar calor, por lo que reduce la eficiencia en este método de almacenamiento.

Las funciones posibles del hidrógeno en la tecnología energética del futuro se pueden clasificar en:

- 1) **Función directa:** el hidrógeno como combustible.
- 2) **Función indirecta:** en las que el hidrógeno es un componente importante del sistema total de energía, es decir, en un paso intermedio, el hidrógeno está implicado en alguna conversión, posiblemente la creación de un combustible sintético como el gas natural o la conversión en energía eléctrica.

El hidrógeno es 50% más eficiente que la gasolina, pero el problema hasta hace poco lo representaba el tipo de contenedor ya que debe estar a una temperatura de 253°C bajo cero, que es el punto de ebullición del hidrógeno. Las pérdidas por vaporización en el tanque de almacenamiento, son tal vez del 2% o más diario, además, debe ser evacuado de modo que no pueda haber ignición del hidrógeno gaseoso liberado ni acumulación de mezclas explosivas hidrógeno-aire. El límite explosivo inferior del hidrógeno en el aire es del 4%, así que debe existir una ventilación adecuada. Afortunadamente el gas hidrógeno siendo, el más ligero, se eleva y expande rápidamente pudiéndose dispersar con facilidad.

Probablemente el primer uso importante del hidrógeno líquido, como fuente de energía para generar potencia motriz, será la propulsión de aviones a reacción, debido principalmente a su bajo peso y la menor pérdida de combustible por evaporación y distribución, ya que este se calienta a una temperatura elevada de aproximadamente 3,000°F (1,927°C), además tiene la ventaja de que es 2.5 veces más ligero que el combustible para aviones a reacción, pero ocupa tres veces más volumen que este combustible.

Otro uso potencial es en los vehículos automotores en particular como combustible transformándolo en agua mediante nuevas tecnologías como son las celdas combustibles; ya que hasta hace poco se pudo obtener una celda electroquímica para la obtención de agua a partir de hidrógeno y oxígeno con un gran rendimiento, lo que representa una seria amenaza para los países productores de gas y petróleo, por lo que a esta tecnología, últimamente se le ha puesto muchas trabas por parte algunos gobiernos.

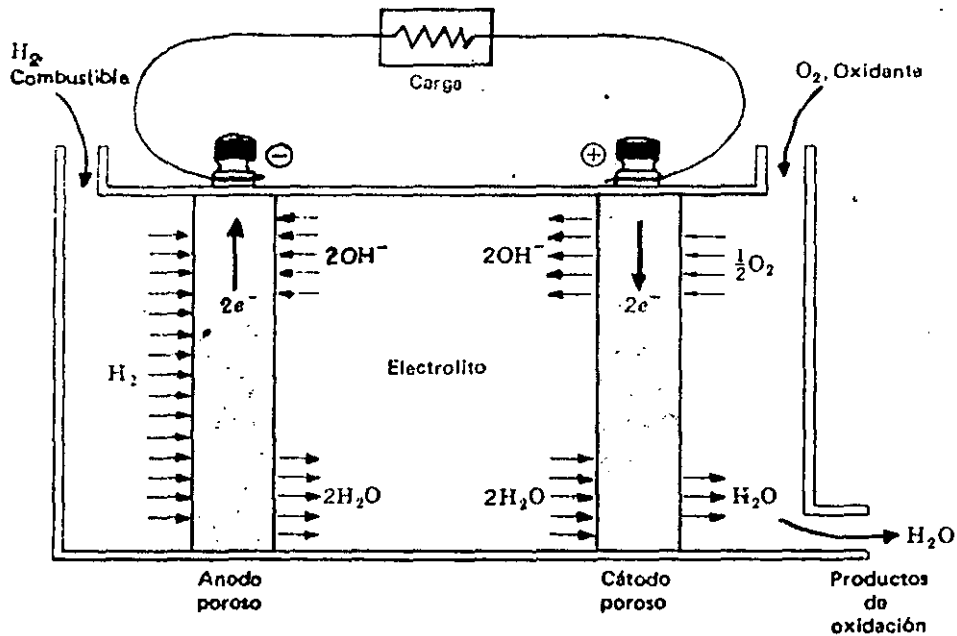


Figura No. 8.1 Celda de combustible Oxígeno-Hidrógeno

Desde luego esto representaría para México una baja considerable en las exportaciones de hidrocarburos, sobre todo porque su principal socio es el vecino del norte, el cual, frente al serio problema de la crisis mundial en el elevado costo de los hidrocarburos, está dándole una gran importancia a la investigación de nuevas tecnologías para poder independizarse de la polémica crisis ocasionada por los árabes.

Posiblemente los países europeos durante esta primera década del siglo XXI sean los primeros que hagan uso de dicha tecnología, independizándose en gran medida de los hidrocarburos para uso como combustible en los medios de transporte.

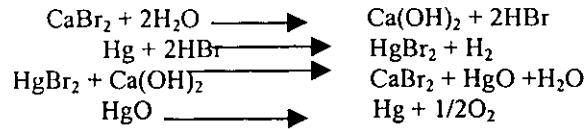
En términos de conservación total de energía, cuando se ve al hidrógeno como medio para conservar las fuentes de combustibles fósiles, hay que buscar una materia prima menos costosa y más abundante. Obviamente, esa materia prima es el agua. En particular, en regiones en las que no se dispone fácilmente de hidrocarburos se han construido instalaciones grandes para la electrólisis del agua, donde el costo de la electricidad es bajo.

Además de la electrólisis, un medio importante que ha sido considerado para obtener hidrógeno del agua es la separación termoquímica. El calor residual y la elevada temperatura que se obtienen de ciertos reactores nucleares provocarían una serie de reacciones químicas para liberar oxígeno e hidrógeno del agua.

En el Centro de Investigación Nuclear de Julich en Alemania, se ha dado mucha atención a los ciclos termoquímicos basados en el azufre y el cloro. Otros investigadores han estado probando diversas combinaciones de más de 56 elementos químicos, incluyendo más de 700 compuestos diferentes, que pueden ser promisorios en varios programas para un ciclo cerrado de separación del agua.

Estas reacciones, que simplemente contarían con un reactor nuclear como fuente de calor, no tendrían que esperar la tecnología de fusión nuclear. Por ejemplo:

La compañía Ispra ha elaborado algunas secuencias de reacciones químicas que operan a temperaturas no mayores de 730°C. Una de estas secuencias es:



La desventaja de esta secuencia es el empleo de bromuro de hidrógeno, que es altamente corrosivo. También se requiere una gran cantidad de mercurio. Pero existen otras reacciones que se basan en el cloro y hierro.

Los cambiadores de calor entre la parte nuclear y la química deben evitar tanto la corrosión como la contaminación radiactiva. Las aleaciones ordinarias níquel-cromo son adecuadas a temperaturas de hasta casi 780°C. Algunas otras aleaciones exóticas pero existentes en el mercado soportan hasta alrededor de 1130°C. Por encima de esta temperatura se pueden emplear cerámicos y nuevas aleaciones. En el laboratorio Científico de los Alamos se llevan a cabo considerables investigaciones sobre estos materiales.

Entre otros medios están el uso de radiación ultravioleta procedente del plasma de un reactor de fusión para la fotólisis directa del vapor del agua (descomposición de las moléculas, ocasionada por la absorción de la energía proveniente de la luz) y el uso de algunas formas de agua, como el estímulo de luz para convertir iones hidrógeno mediante una compleja cadena de reacciones bioquímicas.

Un 42% del hidrógeno producido se consume en la fabricación de amoníaco, 38% se emplea en la refinación de petróleo, otros grandes consumidores son el procesamiento metalúrgico y de alimentos.

Se estima que el petróleo crudo sintético que se obtiene del carbón requerirá:

- 1) 6,500 pies<sup>3</sup> estándar de hidrógeno por barril de petróleo.
- 2) 1,300 pies<sup>3</sup> estandar por barril de aceite de esquisto ( Roca sedimentaria, de gramo muy fino que contiene suficiente materia orgánica paara dar 10 o más galones de petróleo por tonelada al ser adecuadamente procesada. En algunos estratos llegan a dar 140 galones de petróleo por tonelada. Los esquistos son de interés comercial cuando dan de 25 a 65 galones por tonelada de esquisto)
- 3) 1,500 pies<sup>3</sup> estandar por cada 1,000 pies<sup>3</sup> estandar de gas sintético de ducto producido por la gasificación del carbón.

### 8.1.2 Obtención de Hidrógeno.

La **reacción catalítica** de los hidrocarburos con vapor (reformación por vapor) es uno de los procesos más utilizados para producir hidrógeno comercial. Los hidrocarburos, desde el metano hasta la nafta de petróleo, se vaporizan, se mezclan con vapor de agua y se hacen pasar sobre un catalizador de níquel a temperaturas de entre 1,200 y 1,800 °F (649 y 928), con esto se obtienen óxidos de carbono e hidrógeno.

Un **segundo proceso muy usado es la oxidación parcial no catalítica de hidrocarburos (Proceso Texaco y Shell)**, que pueden utilizar cualquier hidrocarburo líquido, incluyendo petróleo crudo y combustóleo residual, de aquí que se puedan utilizar en lugares donde los hidrocarburos ligeros son inexistentes o caros. El hidrocarburo, vapor de agua, y oxígeno reaccionan a temperaturas que van de 2,300 a 2,700 °F (1,260 a 1,482°C) para formar óxidos de carbono e hidrógeno.

Otros procesos usados para la obtención de hidrógeno son:

- Oxidación parcial catalítica de hidrocarburos.
- Proceso vapor-agua-gas.
- Electrólisis de agua ya mencionada.
- Disociación de amoniaco.
- Proceso vapor metanol.
- Disociación térmica de hidrocarburos.

**Recomendación:** Otro campo interesante para los inversionistas podrá ser invertir en la construcción de nuevas plantas productoras de hidrógeno para producir petróleo y gas sintético a partir de carbón, sobre todo en aquellas regiones donde este elemento abunda, así como su uso en un futuro cercano como combustible en el sector automotriz.

En el caso de México, la tecnología del hidrógeno parece todavía un tanto lejana, ya que con la dependencia del petróleo por el momento aparentemente, no justifica la inversión y el uso de nuevas tecnologías. Aunque sería interesante hacer un estudio para ver que tan factible sería fabricar metano a partir de la importación del carbón, para poderlo exportar transformandolo en metanol como combustible que a su vez puede ser materia prima para producir ácidos carboxílicos, aldehidos y cetonas ó para que en el país consumidor se transforme de nuevo a metano.

En algunos casos se ha de requerir invertir en el sector petroquímico, porque hay que recordar que el petróleo ó el gas ya sea sintético o natural no deja tanto dinero como gama de productos que se pueden obtener, teniendo un mayor valor agregado.

Además si se logra la reactivación del campo, podría haber un gran consumo de hidrógeno ya que este sector podría consumir grandes cantidades de amoniaco que es una de las principales materias primas para la producción de fertilizantes.

## 8.2 LITIO

### 8.2.1 Usos.

Los minerales de litio y los compuestos de este metal tienen una demanda creciente en sus aplicaciones para la industria de vidrio y cerámica (productos de baja expansión térmica, cerámicas totalmente vitrificadas, envases a granel de vidrio, envases para cosmética, fritas y esmaltes), producción de aluminio, lubricantes y grasas, caucho sintético, etc, así como **para componentes de TV monocromática y color** así como para la fabricación de **baterías** ya que posee ciertas propiedades que lo hacen más eficiente y menos tóxico frente al cadmio así como su bajo peso, y muy posiblemente en un futuro como combustible para la tecnología de **fusión nuclear**. Su principal acción es rebajar la temperatura de fusión del baño, pero también ejerce beneficiosas influencias sobre la viscosidad y la expansión térmica.

<b>Tabla No. 8.1</b>		
	<b>Precio US\$/t</b>	<b>US\$/kg de Li<sub>2</sub>O contenido</b>
Carbonato de litio	1 763-2 204	4,36-5,45
Espodumena 7,5%	363-385	4,84-5,13
Espodumena grado vidrio 4,8%	195-260	4,06-5,42
Petalita 4,3%	180-270	4,18-6,28

Fuente: Mineral Price Watch 1998, reproducido de Met. & Min. Annual Review 1998, y elaboración propia

### 8.2.2 Producción Mundial.

Los minerales comerciales de litio suelen tener del 3 al 4% Li<sub>2</sub>O en los de lepidolita (Namibia, Zimbabwe), del 7,5 al 9% Li<sub>2</sub>O en los de amblygonita (Namibia, Brasil), del 3 al 4,7% Li<sub>2</sub>O en los de petalita (Brasil, Namibia) y del 4,8 al 7,5% Li<sub>2</sub>O en los de espodumena (Estados Unidos, Australia, Canadá, Zimbabwe). Además, parte de la producción estadounidense procede de las salmueras de Silver Peak (Nevada), con 160 ppm Li en el todo uno y concentrados del 38-42% LiCl (13,3-14,8% Li<sub>2</sub>O equivalente), y la totalidad de la chilena se obtiene de las salmueras del Salar de Atacama, las más ricas conocidas, con 1 900-3 400 ppm Li en el todo uno.

Una dificultad añadida es el desconocimiento de la producción norteamericana, país que hasta hace poco era el mayor productor, cuyos datos no se hacen públicos al ser solamente dos las empresas explotadoras. A pesar de ello, se calcula que la producción mundial fue en 1997 de unas 16,9 kt Li contenido, de las que 9,9 kt procedieron de minerales y salmueras y 7 kt se obtuvieron como carbonato (Chile, China).



<b>Tabla 8.2 PRODUCCIÓN MINERA MUNDIAL DE LITIO ( t de mineral)</b>					
<b>País</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996p</b>	<b>1997e</b>
Portugal (lepidolita)	13 289	11 352	8 740	7 626	9 000
España (lepidolita)	sd	8 665	9 995	8 250	9 124
<b>Chile * posee entre el 40-50% de las reservas mundiales.</b>	10 369	10 439	12 943	14 000	22 100
Brasil **	5 491	7 397	7 171	7 200	sd
Argentina	300	400	400	1 500	sd
Estados Unidos ***	3 500	3 500	3 500	4 000	3 500
Australia (espodum.)	33 353	61 708	80 135	131 932	114 934
Rusia	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000
Zimbabwe	18 064	25 279	33 498	30 929	49 833
Canadá	18 900	20 000	21 000	22 000	sd
China *	8 250	9 050	12 800	15 000	15 000
Namibia (espodum.)	739	1 362	2 611	2 400	sd
<b>TOTAL (Li cont.)</b>	<b>9 900</b>	<b>10 900</b>	<b>12 600</b>	<b>14 900</b>	<b>16 900</b>

Fuentes: World Min. Statistics 1992-96, BGS; Met. & Min. Ann. Rev. 1998; Min. Comm. Summ. 1999, USGS; elaboración propia; p = provisional ; e = estimado \*carbonato de litio \*\*\* amblygonita, petalita y espodumena \* \*\* litio contenido en salmueras y espodumena

El cuadro siguiente recoge la evolución reciente de los precios reseñados por *Industrial Minerals* para diversos minerales de litio y su carbonato, expresados por el punto central de la banda de fluctuación indicada por dicha revista, y del carbonato e hidróxido en el mercado interior norteamericano. Como puede verse, los precios de la espodumena subieron en 1997 entre el 2,1% (calidad 7,25% Li<sub>2</sub>O) y el 5,5% (grado vidrio), mientras que en EEUU el carbonato subió un 3% y el hidróxido un 4,2%.

Tabla No. 8.3	1993	1994	1995	1996	1997
<b>Minerales</b>					
- Petalita, 4,2% Li <sub>2</sub> O, granel, fot Amsterdam, \$ / t	144,6	147	147	147	270**
- Espodumena, 7,25% Li <sub>2</sub> O, fot Amsterdam, \$ / t	385	385	385	401	410
- Espodumena, gr. vidrio, 5% Li <sub>2</sub> O, id., \$ / t	175	175	175,6	199	210
<b>Compuestos</b>					
- Carbonato litio, empaq. o tambores, \$ / lb	1,96	1,97	1,97-2,03	1,97-2,03	1,97-2,03
- USA, fin de año, \$ / kg *	4,21	4,41	4,34	4,34	4,47
- Hidróxido de litio monohidrato, USA, id, \$ / kg *	5,71	5,62	5,62	5,51	5,74

Fuentes: Industrial Minerals; \* Mineral Commodity Summaries 1997, USGS

<http://www.igme.es/internet/panorama/litio.htm> Actualizado 14-12-1999

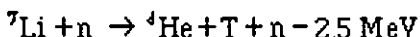
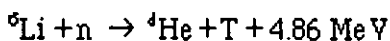
\*\* La cotización ha pasado a ser empaquetado fob Durban, en vez de a granel fot (fire on truck) Amsterdam

### 8.2.3 Potencial del litio en el sector automotriz.

La industria automotriz ha desarrollado hasta ahora baterías, con base en el litio, que brindan autonomías que van desde los 150 hasta los 300 kilómetros antes de la recarga; sin embargo, la comunidad científica que trabaja en la investigación de las aplicaciones de este metal prevé que, con el desarrollo de la tecnología, esa autonomía podrá subir fácilmente a los 2.000 ó 3.000 kilómetros.

### 8.2.4 Potencial del <sup>6</sup>Li en la fusión Nuclear.

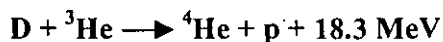
El litio natural (92.5% <sup>7</sup>Li y 7.5% <sup>6</sup>Li) es un elemento abundante en la corteza terrestre (30 ppm: partes por millón) y en menores concentraciones en el mar.



### 8.3 Potencial del <sup>3</sup>He.

La reacción deuterio-helio-3 es atractiva por su sección eficaz y porque **no produce neutrones** los cuales van debilitando la estructura de los contenedores en los cuales se lleva a cabo la fusión nuclear.

El helio-3 es muy escaso en la Tierra, pero existe en grandes cantidades en la Luna por lo que de darse la fusión nuclear seguramente se empezara a crear un mercado para traer este mineral para el 2050.



## 8.4 FUSIÓN NUCLEAR.

### 8.4.1 La fusión nuclear.

La fisión y fusión nucleares fueron definidas en el plano teórico en el mismo período, a finales de la década de 1930.

La fusión es un proceso ocho veces más poderoso que la fisión; es el proceso mediante el cual se genera el calor del sol y las estrellas.

Cualquier cuerpo celeste que tenga cierta masa y esté compuesto de hidrógeno, puede encenderse automáticamente cuando sus capas más interiores se calientan por efecto de la presión ejercida por el enorme peso de las capas superiores.

El sol no puede apagarse, ya que la presión gravitacional redeterminaría la compresión y por lo tanto el calentamiento necesario para reiniciar la combustión.

El ciclo de fusión fue descrito por primera vez por el físico Hans Albrecht Bethe que recibió por esa teoría el premio Nóbel en 1967, al que se le debe la explicación de la naturaleza termonuclear.

La fusión podría salvar muchos problemas energéticos del mundo por varias razones.

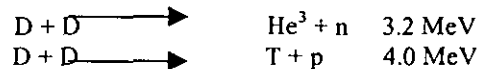
Primero, el combustible de un reactor de fusión es el deuterio (una de cada 6,500 moléculas de agua común (H<sub>2</sub>O) contienen deuterio con el cual se puede formar agua pesada (D<sub>2</sub>O)), una forma pesada de hidrogeno que casi todas las naciones pueden obtener del agua de mar abunda 30 g/m<sup>3</sup>.

Segundo, la reacción de fisión obtenida mediante neutrones, que al ser eléctricamente neutros, atraviesan fácilmente las barreras eléctricas existentes alrededor de los núcleos los núcleos que deben unirse para la fusión están, en cambio, cargados positivamente y por lo tanto se rechazan. Esta fuerza de repulsión aumenta rápidamente con el aumento de la carga atómica y se convierte en prohibitiva incluso para los núcleos relativamente pequeños.

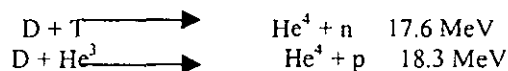
De ahí que los combustibles de fusión deban elegirse entre los elementos más ligeros, como hidrógeno, helio, litio, berilio y boro **actualmente se conocen más de 30 reacciones.**

La primera reacción evaluada para las instalaciones de fusión fue la de deuterio-deuterio D-D.

El deuterio reacciona consigo mismo para producir tanto helio-3 (He<sup>3</sup>), un isótopo estable pero extremadamente raro, como tritio.



Estos productos de reacción pueden a su vez reaccionar con el deuterio y ser quemados o reciclados para producir aún más energía que la que puede obtenerse de la reacción D-D.



En comparación, **la fisión del uranio produce aproximadamente 200 MeV**, pero partiendo de un gran núcleo de unos 235 nucleones.

En la fusión participan solamente cinco nucleones y el rendimiento es mayor, ya que de 1/47 de la masa se logra 1/11 de la energía, o sea, aproximadamente cuatro veces más energía de un peso determinado de combustible.

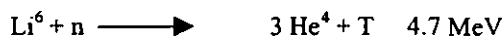
Limitándonos sólo a las primeras reacciones, **un metro cúbico de agua de mar contiene el suficiente deuterio para que en un reactor de fusión se produzca la energía equivalente a la obtenida al quemar 2,000 barriles de petróleo; Un kilómetro cúbico de agua de mar contiene la energía equivalente a todas las reservas petrolíferas del mundo.**

La cantidad total de agua contenida en los océanos equivale a más de 1,000 millones de kilómetros cúbicos (30 millones de toneladas de deuterio); en otras palabras, al ritmo actual de consumo de energía en la Tierra esto equivale a que haya energía garantizada mediante el deuterio para varios miles de millones de años.

En comparación con la fisión nuclear proveniente del uranio, esta es aproximadamente 3% de las reservas conocidas de combustibles fósiles.

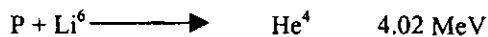
La reacción D-T representa un problema por la poca disponibilidad del Tritio. Afortunadamente, el neutrón que se emite durante la fusión D-T puede reaccionar con un isótopo de litio para producir tritio y liberar más energía.

Un método interesante es usar el litio que por acción con los neutrones produce tritio.



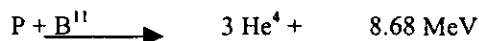
Los recursos mundiales de litio son suficientes para la producción energética de durante varios miles de años.

Los combustibles nucleares basados en protones tienen en general, la propiedad de producir mucho menos neutrones.



Uno de los productos de la reacción,  $\text{He}^3$ , puede reaccionar con el  $\text{Li}^6$  produciendo un número más limitado, de neutrones.

Una reacción casi ideal, aunque de tercera generación, es:



En la que ni el combustible ni las cenizas producen neutrones.

De acuerdo con la cantidad de neutrones liberados en las reacciones, éstos producen anomalías en las propiedades estructurales del contenedor; en el peor de los casos sea, D-T, en la que unos 4/5 de la energía producida por la reacción se libera en forma de neutrones de movimiento rápido, que son de 15 a 30 veces más energéticos que los liberados durante una reacción de fisión. La primera pared que circunda el plasma y las zonas de vacío alrededor del punto de fusión, absorberán la mayor parte del choque, producida tanto por el bombardeo neutrónico como por la radiación electromagnética emanada del plasma calentado.

En las colisiones contra esta pared, los neutrones abandonarán una parte de su energía en forma de calor que debe eliminarse rápidamente mediante refrigeración circulante con el fin de evitar la fusión de la pared.

El combustible de fusión libera 1,000,000 de veces más energía que un peso similar de carbón o petróleo; una cucharadita de deuterio, contiene la energía equivalente a 1,135.5 litros de gasolina; 453 kilogramos de deuterio podrían alimentar una central eléctrica de 1,000 MW durante un año.

Las reacciones de fusión nuclear ocurren en condiciones extremas y exactas. Los núcleos de deuterio y tritio se repelen naturalmente porque ambos poseen carga positiva. Para poder fusionarlos, los científicos deben calentar la mezcla del gas a temperaturas tan elevadas que los electrones que rodean cada átomo se desprenden y el gas se convierte en plasma (es el cuarto estado de la materia; es decir, las partículas de plasma contienen carga eléctrica que está ionizada, en lugar de neutra).

Las dimensiones de los núcleos son aproximadamente 100,000 veces inferiores a la de los átomos; para acercarlos, hasta la distancia crítica necesaria para provocar la reacción nuclear, se necesitan energías iniciales 100,000 veces más fuertes, para superar la repulsión inicial y por lo tanto temperaturas 100,000 veces más elevadas que las necesarias para las reacciones químicas comunes, por lo tanto debe pasarse de los miles a las decenas de millones de grados absolutos.

Pares de núcleos de deuterio y tritio pueden fusionarse en núcleos simples de gas helio, expeliendo neutrones a gran velocidad durante el proceso. Los neutrones, que se llevan la mayor parte de la energía de la reacción de fusión, son absorbidos por una manta de unos 90 cm que rodea el plasma del recipiente. Cuando la manta se calienta, puede calentar un refrigerante que pase por la manta y así producir vapor, y éste puede ser alimentado a una turbina para generar electricidad.

Los científicos pueden contener el plasma de dos maneras:

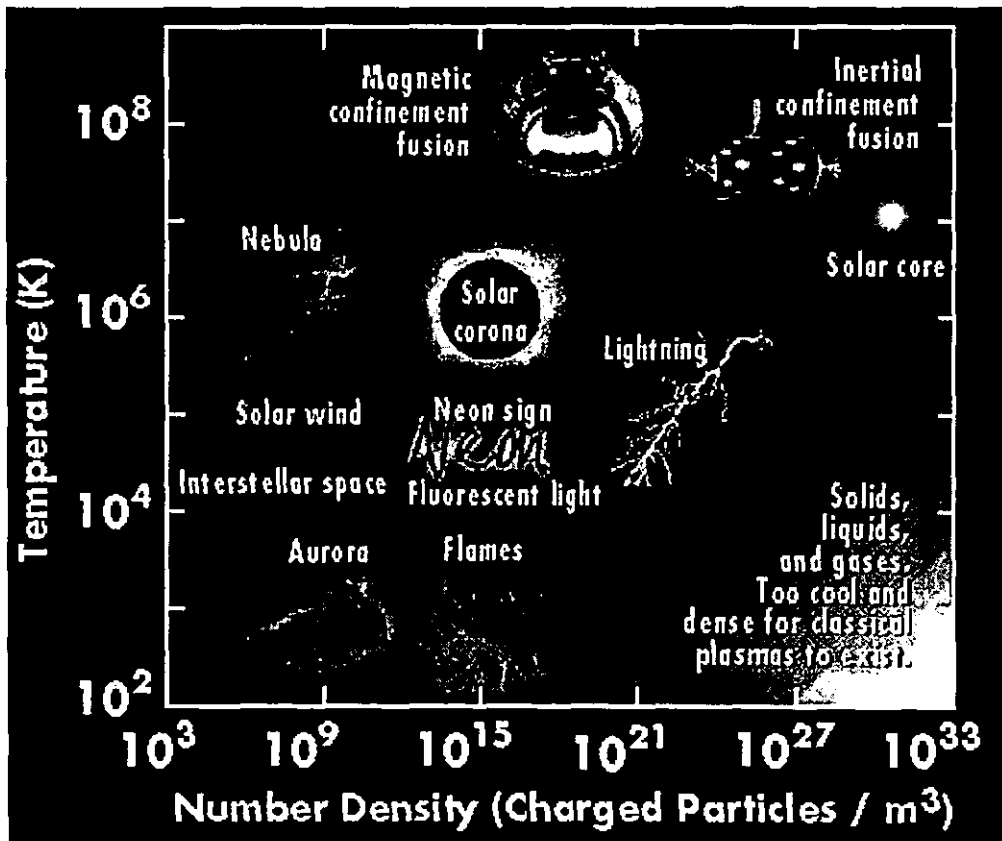
- 1) Pueden suspender el plasma en campos magnéticos.
- 2) Pueden utilizar la inercia de una pella de combustible caliente, que ha sido bombardeado y comprimido por rayos láser o de partículas energéticas.

El problema principal es que se trata de mantener hidrógeno, tritio, deuterio, y helio a temperaturas entre los 20 y 200 millones de grados centígrados. Como no hay un recipiente, un horno que resista estos niveles, había que encontrar otros mecanismos.

#### 8. 4. 2 Métodos para calentar el plasma.

- **Calentamiento óhmico:** Como el plasma es un conductor eléctrico (por estar constituido de iones) es posible calentarlo haciendo pasar una corriente eléctrica por él; de hecho, la corriente que genera el campo magnético poloidal también calienta el plasma. Este calentamiento se llama óhmico, pues viene regido por la ley de Ohm y la de Joule. El calor generado depende de la resistencia del plasma y de la intensidad de la corriente, pero mientras la temperatura sube, la resistencia baja y el calentamiento resulta, en consecuencia, menos efectivo. Parece ser que la temperatura máxima alcanzable así en un tokamak ronda los 20 o 30 millones de grados; para obtener temperaturas superiores hay que utilizar otros métodos de calentamiento.
  
- **Inyección de rayos neutros:** Este tipo de calentamiento incluye la introducción de átomos de alta energía en el plasma calentado óhmicamente y confinado magnéticamente. Los átomos son ionizados inmediatamente y atrapados en un campo magnético. Estos átomos calientan el plasma mediante los repetidos choques producidos en el reactor.
  
- **Compresión magnética:** Un gas puede ser calentado por sucesivas compresiones, del mismo modo que el bombín se calienta al hinchar una rueda. Así, el plasma es comprimido rápidamente mediante un aumento de la intensidad del campo magnético; esto logra que las partículas de plasma queden muy juntas aumentando así los choques que calientan el plasma. Además este método tiene otra ventaja, y es que a la vez que calentamos estamos comprimiendo el gas y aumentando su densidad.
  
- **Calentamiento por microondas:** En un calentamiento por microondas, unos osciladores exteriores al toroide generan ondas de alta frecuencia que son absorbidas por el plasma (deben tener una longitud de onda específica) haciendo que aumente la temperatura y la frecuencia de colisión entre las partículas.
  
- **Compresión inercial:** Este método es similar al de compresión magnética, en el cual la disminución de volumen causa el calentamiento del plasma, pero en este caso lo que se usa es un rayo láser o un rayo de iones para calentar la parte exterior de un pellet. Al vaporizarse produce un aumento de presión que acelera al plasma y la inercia de los átomos de la implosión en el pellet permite al plasma ser calentado y comprimido durante un tiempo muy corto.

Tabla No. 8.4		
Método de confinamiento	Mecanismo de calentamiento	Ejemplo
Gravedad	Compresión (gravedad) Reacciones de fusión (p-p)	La que se da en el corazón de las estrellas
Compresión Inercial	Compresión (implosión provocada por rayos láser o de iones) Reacciones de fusión (D+T) Ondas electromagnéticas Calentamiento óhmico Rayos de partículas neutras	Reactores de fusión inducida mediante láser
Magnético	Compresión por campos magnéticos Reacciones de fusión (D+T)	Reactores tipo tokamak



Gráfica No. 8.1

Fuente: Internet <http://perso.wanadoo.es/almanzor25/Intro.htm>

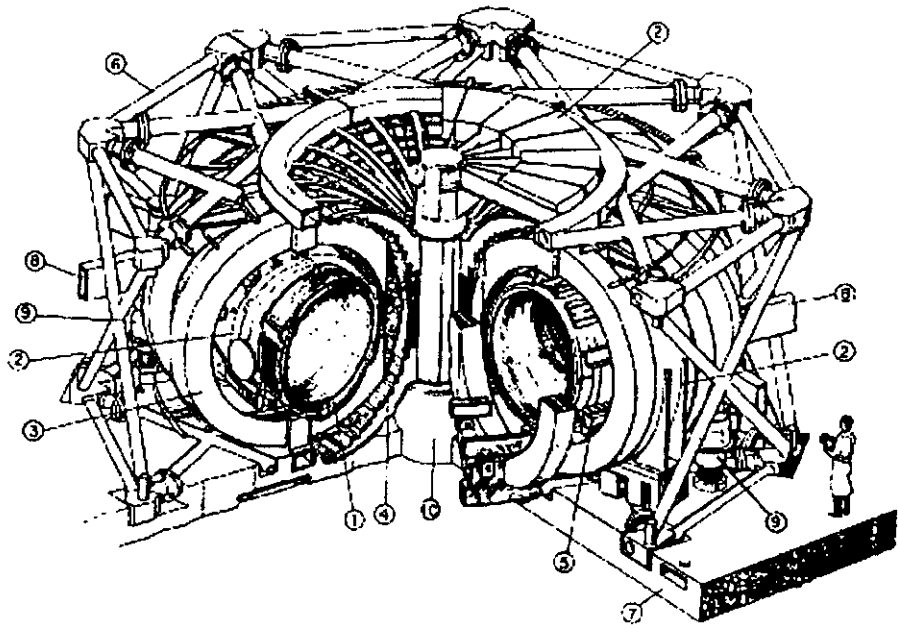
El gráfico da una idea de la temperatura y densidad de partículas en diferentes fenómenos naturales (en los que intervienen iones), así como las requeridas en reactores de confinamiento magnético y confinamiento inercial. Resulta evidente lo complicado que es producir la fusión artificialmente en condiciones controladas.

### 8.4.3 FUSIÓN POR CONFINAMIENTO MAGNÉTICO.

Puesto que los plasmas son excelentes conductores de la electricidad pueden recibir la acción de campos magnéticos. Por lo tanto, los campos en cuestión pueden emplearse para delimitar el plasma en tal forma que no toque las paredes del reactor, ya que de no ser así se enfriaría rápidamente, perdiendo su energía y alta temperatura con gran velocidad.

Las investigaciones de las reacciones de fusión nuclear controladas se efectúan en los E.U., en la ExURSS, Japón y Europa.

A la fecha, las condiciones para una reacción sostenida no se ha logrado, aunque se han realizado grandes avances. Una configuración particular de los campos magnéticos que ha probado ser muy viable, es la llamada configuración Tokamak (Toroidalni Kamera Makina) con forma de dona como se muestra a continuación.



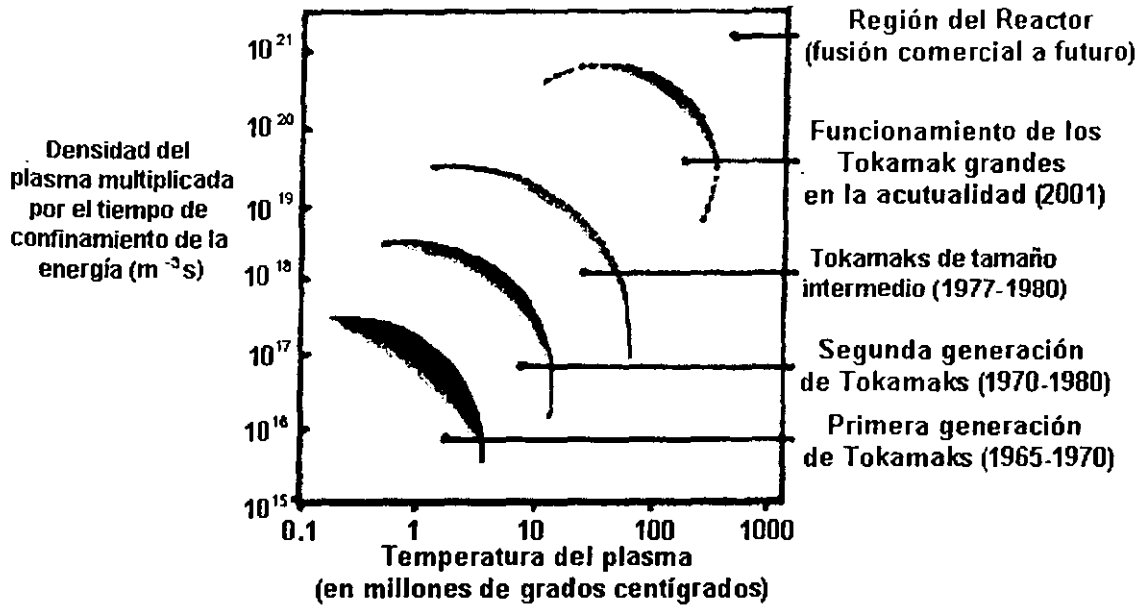
**Figura No. 8.2 Diseño de un reactor Tokamak**

Fuente: Douglas M. Considine, «Tecnología de la Energía Nuclear», Publicaciones Marcombo S.A., Tomo 4, pág. 4-170, 1988.

La escala viene dada por una persona de dos metros mostrada en la esquina inferior derecha de la figura.

(1) Recipiente toroidal al vacío, (2) blindaje del dispositivo, (3) bobinas toroidales del campo, (4) bobinas de campo de calentamiento óhmico, (5) bobina de campo de equilibrio, (6) estructura de torsión del dispositivo, (7) subestructura del dispositivo, (8) conductos de inyección de haces neutros, (9) bombas de vacío del recipiente toroidal, (10) columna central de soporte.





**Gráfica No. 8.2 Progreso efectuado para lograr la fusión nuclear sostenida y comercial.**

Fuente: Hewitt Geofferey F. Introducción a la Ingeniería Nuclear, Ed. Harla, México D.F. 1992, pág. 237.

Nota: Se hizo unas modificaciones con respecto al original, actualizandose de acuerdo a las densidades del plasma alcanzadas en el presente 2001.

#### **8.4.4 FUSIÓN POR CONFINAMIENTO INERCIAL.<sup>4</sup>**

En este otro proceso, no se utilizan campos magnéticos, es la energía de los rayos láser (Light Amplification Stimulated Emission Radiation/ Amplificación de la luz mediante emisión estimulada de radiación) o de rayos de partículas con cargas eléctricas, los que crean las enormes temperaturas y densidades.

En la actualidad cuatro de los mayores sistemas láser del mundo son: el NOVA del Lawrence Livermore National Laboratory (en California), el GEKKO-XII de la universidad de Osaka (en Japón), el PHEBUS de Limeil (en Francia) y el OMEGA en el laboratorio de la universidad de Rochester (en Gran Bretaña), que se están usando con longitudes de onda en la franja visible y ultravioleta.

En el Laboratorio de los Álamos está en funcionamiento otro tipo de láser que funciona con una longitud de onda ultravioleta.

Muchos sistemas láser tienen un papel en el campo de la milicia, pero han demostrado ser muy viables en el proyecto para obtener energía mediante la fusión nuclear.

Se han ido encontrando mejores mecanismos capaces de provocar la implosión de la micro esfera, pastilla o pella de hidrógeno. En vez de la luz de láser, se pueden usar haces de núcleos de materiales pesados como: plomo, oro, plata o mercurio, impulsados con campos eléctricos a velocidades muy elevadas y apuntados contra la microesfera a manera de un rifle.

Al disparar contra la pella que cae en la cámara de fusión, se produce un impacto mecánico que genera la reacción tritio-deuterio.

Para este método pueden ayudar los aceleradores de partículas. En los Sandia National Laboratories de Albuquerque durante la década de 1990 empezó la construcción de un acelerador, llamado PBFA-II (Particle Beam Fusion Accelerator / acelerador de fusión de haces de partículas), que aportará energía a las pellas de combustible mediante haces de iones de litio altamente energéticos.

La misma tecnología de los aceleradores nos ofrece también una nueva y más poderosa fuente de luz, un láser que emite luz en longitudes de onda tales que la microesfera no se vuelve reflectora tras un primer calentamiento y es eficiente, de forma que sólo exige una pequeña fracción de la energía producida por la reacción. Se trata del llamado Free Electron Laser (láser de electrones libres) conocido como "FEL", que es una auténtica revolución para podernos acercar a la perspectiva de la fusión.

Con el FEL la luz es emitida por haces de electrones lanzados a la velocidad de 300,000 km / seg y orientados dentro de estructuras magnéticas adecuadas. Esta técnica es prometedora por tres motivos:

- 1) Permite emitir haces luminosos increíblemente intensos.
- 2) Es mucho más eficaz desde el punto de vista del balance energético.
- 3) Funciona en todas las longitudes de onda.

Las mediciones efectuadas en diferentes laboratorios estadounidenses han revelado que es posible obtener una eficiencia del 30% en producción de intensos impulsos de luz respecto de la cantidad de energía empleada para producirlos.

La tercera propiedad del FEL reside en su capacidad para emitir luz en longitudes de onda elegidas en un amplísimo espectro. Esto elimina el fenómeno de autorreflexión de la microesfera para obtener el máximo rendimiento en el proceso de calentamiento del plasma.

Se están realizando grandes progresos tecnológicos fundamentales que hacen creer en una solución de los problemas de la fisión mediante confinamiento inercial en tiempos razonablemente breves.

Actualmente el FEL por desgracia es la base del programa "Guerra de las Galaxias", lo que significa que si se consigue la fusión mediante este programa, otros países posiblemente exigirán la liberación del secreto FEL para poder producir su propia fusión, empezándose así una nueva carrera armamentista con lasers más poderosos.

El FEL representa la inversión de varios miles de millones de dólares al año, por parte de la administración de los E.U.; este impulso fuerte con fines bélicos, se reflejará de manera decisiva en los programas de investigación en el campo de la fusión.

Tomando como base los principios de la bomba de hidrógeno, los científicos utilizan intensos rayos de luz o de partículas atómicas para bombardear una diminuta cuenta esférica ó pella de combustible (del orden del milímetro y la cámara de explosión de un diámetro de al menos diez metros, para diluir los efectos de la explosión en las paredes) desde todas direcciones; la onda de choque subsecuente origina la implosión de la esfera.

El calor de los rayos vaporiza la capa exterior de la pella y la salida de este vapor exterior crea una fuerza interna que comprime la pella a densidades enormes, mientras que también la calienta a muy alta temperatura. A una densidad comprimida (alrededor de 1,000 veces la densidad normal de los materiales sólidos) y temperatura suficientes, el deuterio y el tritio del combustible pueden inflamarse, dando lugar a una fusión y puede liberarse una gran cantidad de energía antes de que se expanda la pella. Este concepto se basa en la resistencia de la pella para cambiar el movimiento (inercial) que sostiene a la pella por una millonésima parte de segundo antes de que explote por la presión interna.

Para una central eléctrica práctica, se tendrían que inflamar dichas pellas alrededor de 10 veces por segundo. Los experimentos realizados han logrado llegar a la temperatura de ignición a bajas densidades, pero aún les faltan diez veces para lograr la compresión requerida.

En las condiciones típicas, una pastilla de combustible se podría irradiar mediante un láser en la franja ultravioleta cuya energía es de 1.6 millones de julios; en la fusión, la energía del láser es liberada con una potencia media de  $3 \times 10^{14}$  vatios en un impulso cuya intensidad aumenta constantemente en 5-10 millonésimas de segundo.

Según las simulaciones, la producción de energía termonuclear es 100 veces la energía del láser que entra, estos resultados permiten confirmar la viabilidad de la fusión con láser.

Podría crearse pues, una instalación capaz de producir casi 1,000 millones de vatios (1,000 MW), o sea, la potencia comparable a la de un gran reactor nuclear, si entran en ignición 10 pellas de combustible cada segundo

y si el rendimiento total del láser fuese de alrededor del 15%. Sobre esta base, puede llegarse a la conclusión de que para un reactor podría resultar adecuado un láser que emita más de 1.6 millones de julios de energía, pero menos de 10 millones, el problema es que en la actualidad todavía no se tiene el láser con tal cantidad de energía para la fusión nuclear.

Aún se efectúan estudios para el proceso de confinamiento inercial, sin embargo, los mayores esfuerzos se dedican al logro de la reacción de fusión mediante el confinamiento magnético.

#### **8.4.5 Requisitos para la fusión comercial.**

Los reactores de fusión deben satisfacer tres condiciones para poder generar, no sólo la energía que se requiere para calentar el deuterio y el tritio al estado de plasma, sino también la energía adicional para producir electricidad.

- 1) Deben calentar el plasma a más de 50 millones de grados centígrados ( de 3-6 veces la temperatura estimada del interior del sol)
- 2) Deben concentrar grandes cantidades de estos núcleos a alta densidad para poder producir un alto porcentaje de energía.
- 3) Se deben confinar las partículas del plasma a estas temperaturas y densidades durante el tiempo necesario para garantizar la liberación de una útil cantidad de energía, actualmente es de aproximadamente 5 segundos.

Cabe mencionar que un kilogramo de materia de fusión produce una energía equivalente a 50,000 toneladas de TNT. En 100 kilos de combustible nuclear se concentra pues, la energía equivalente a 10 millones de toneladas de combustible, aproximadamente el consumo cotidiano de energía fósil del mundo entero, o sea, 50 superpetróleos gigantes concentrados en el portaequipaje de un automóvil.

Mientras tanto, los recursos de uranio disponibles en el mundo, utilizados en reactores rápidos, podrían liberar alrededor de  $10^{23}$  J ( $10^5$  peta joules) y emplear el uranio existente en el océano podría aumentar esta cifra aproximadamente a  $10^{26}$  ( $10^8$  peta joules).

Estas cifras contrastan con el consumo de energía eléctrica actual en el mundo de  $1.8 \times 10^{19}$  J / año (18 petajoules / año), mientras que las reacciones de fusión el deuterio de los mares podría liberar alrededor de  $3 \times 10^{31}$  J ( $3 \times 10^{13}$  PJ), en tanto las reservas de litio existentes en tierra podrían producir aproximadamente  $10^{24}$  J ( $10^6$  PJ), e incluyendo las reservas en el océano ello elevaría la cifra a  $2 \times 10^{28}$  J ( $2 \times 10^{10}$  PJ).<sup>2</sup>

Por lo tanto, los recursos energéticos con las reacciones de fusión pueden considerarse prácticamente ilimitados para más de un millón de años.

En lo que concierne a las armas nucleares, a principios de la década de 1990 había 40,000 bombas termonucleares en los arsenales estadounidenses, y otras tantas en los exsoviéticos, a las que debían agregarse las bombas francesas, inglesas y chinas.

Si se convirtiera la energía contenida en esos artefactos se tendría la energía de más de 100,000 millones de toneladas de petróleo, lo suficiente para alimentar todas las necesidades energéticas de la Tierra durante decenas de años.

Nota: Tanto el gobierno de Moscú como el de Washington acordaron reducir estos arsenales para el 2003 a 3500 ojivas nucleares o termonucleares cada una, de las cuales, 1150 pueden estar colocadas en submarinos y buques, cosa que no parece muy viable ya que el proceso de desmantelamiento es muy laborioso y cuesta mucho dinero.<sup>5</sup>

#### **8.4.6 Impacto Ambiental y Seguridad Industrial**

Las plantas de energía de fusión ofrecen potencialmente un número de ventajas ambientales y de seguridad sobre las demás fuentes energéticas, tales como las plantas alimentadas por combustible fósil o los reactores de fisión nuclear. En comparación con los reactores de fisión, la ausencia de los productos de fisión tales como el yodo y el cesio radiactivos del ciclo de fusión del combustible, reduce el peligro potencial de cualquier accidente en una milésima parte, además, el residuo de un reactor de fusión es mucho menos tóxico que el residuo de fisión.

A diferencia del mineral del uranio, al que se debe moler, enriquecer o reprocesar, los dos combustibles en un reactor de fusión casi no presentan un peligro para el medio ambiente: el deuterio se obtiene del agua de mar y el tritio se produce dentro del reactor.

En la fusión nuclear no es posible que suceda un accidente como el de Chernobil, ya que en el núcleo del reactor de fisión nuclear, el calor de las reacciones se genera en varas de combustible sólido cuando el reactor está en funcionamiento y durante un tiempo aún cuando ya ha sido desconectado.

Un flujo continuo de refrigerante debe pasar por estas varas para eliminar el calor; de lo contrario, se pueden fundir.

En un reactor de fusión el núcleo es un gas muy diluido aunque muy caliente. Si ocurriera un accidente en el recipiente contenedor y el gas escapara, se enfriaría en forma instantánea al tocar las paredes sólidas.

A diferencia del cesio, el yodo y otros productos de fisión radiactivos que deben almacenarse durante cientos de años, el producto de una reacción de fusión es el helio, un gas estable, inocuo, que no tiene radiactividad. Sin embargo, la fusión produce dos tipos de materiales radiactivos que deben tratarse con sumo cuidado.

- 1) El gas tritio, que podría filtrarse fuera de los tanques de almacenamiento por algún accidente en el lugar del reactor. El tritio emite una partícula beta que posee poca energía la cual no puede atravesar la piel. Resulta peligroso para su inhalación, pero sólo permanecería en el cuerpo durante algunos segundos o minutos. El agua de tritio en caso de ingestión, permanecería en el cuerpo durante unos diez días, en comparación con el estroncio o el cesio que permanecen durante años, además de que el tritio es un millón de veces más fácil de diluir en agua que el yodo.
- 2) El segundo material radiactivo se produce cuando los átomos del material estructural del reactor de fusión absorben los neutrones que emite el proceso de fusión y se vuelven radiactivos (activación de neutrones); los neutrones energéticos, no sólo vuelven radiactivo el metal que los rodea sino que también debilita el

metal causándole diminutas dislocaciones estructurales. Por lo que periódicamente se tendrían que cambiar partes de la estructura y luego disponer de ellas.

Es posible reducir en gran medida la cantidad total de dicha radioactividad, si se utilizan materiales que sean más resistentes a la radiactividad para la construcción como el **vanadio**, en lugar del acero inoxidable de modo que se podrá volver a utilizar este residuo en unas pocas décadas.

Un reactor de fusión de acero inoxidable a igual potencia es que un reactor de fisión nuclear produce 300 veces menos radiactividad. Si se reemplaza el acero por vanadio, la radioactividad inducida sería diez veces inferior; en otras palabras, un reactor de fusión produciría 3,000 veces menos radioactividad que un reactor de fisión de la misma potencia.

#### **8.4.7 Avance tecnológico.**

La tarea de desarrollar la fusión para uso práctico comenzó en 1952, después de que se detonó la bomba H (hidrógeno) en Bikini Atoll, cuyo nombre en código era "Proyecto Sherwood", que fué secreto durante seis años. En 1958, como parte del programa del presidente Eisenhower "Átomos para la paz", todas las naciones que trabajaban en la fusión (E.U.A., Inglaterra y la URSS), dieron a conocer sus programas y prometieron cooperar entre sí para convertir la fusión en una realidad, para beneficio de todos.

Durante la década de 1960, la energía de fusión para uso civil continuó avanzando a un ritmo muy lento. En la década 1970 comenzaron a dar frutos las investigaciones; los científicos de MIT lograron el confinamiento adecuado para 1975. A mediados de 1978, científicos de Princeton probaron que se podía lograr la temperatura mínima de ignición en el tokamak.<sup>6</sup>

En la década de 1980 los científicos confiaban que estos éxitos tendrían un éxito total para la década de 1990 pudiéndose dar un uso comercial mediante la fusión en reactores tokamak para el año 2000 cosa que no sucedió ya que nos encontramos a 30 ó 50 años de que esto se vuelva una realidad.

El problema es que la fusión no se había considerado una prioridad en ningún país, pero ante los recientes acontecimientos de la crisis del petróleo durante 1999 y el 2000, seguramente los gobiernos que están haciendo investigaciones en esta área, empezarán a inyectarle los recursos necesarios para que se culmine cualquiera de los dos procesos de fusión, ya que se gastaba del orden de millones de dólares, para poder acercarse al objetivo, mientras que un reactor de fisión nuclear no cuesta menos de 3,000 millones de dólares, actualmente existen más de 430 reactores.

Durante la década de 1990 los expertos europeos han continuado sus experimentos en una instalación muy avanzada llamada NET (Next European Torus), al que seguirá el DEMO, un reactor experimental que deberá producir energía mediante la fusión. Según este plan de investigación, el objetivo no se alcanzará antes del 2050. La lentitud del plan de acercamiento corresponde, tal vez, a las posibilidades económicas y no a las potencialidades expresadas desde hace tiempo en el plano científico.

En todo el mundo se avanza muy lentamente en este campo, hasta el dinámico Japón y Rusia, que se vanagloriaba de más de treinta años de investigaciones en este campo, donde se construyeron las primeras coronas magnéticas, llamadas en todo el mundo Tokamak de origen ruso.

Hasta hace poco los recursos naturales y los reactores de fisión han sido suficientes para ahuyentar la pesadilla de una crisis energética.

Lo que es una realidad es que sólo un gran proyecto de tipo internacional financiado con mucho dinero, nos permitirá crear esta alternativa energética.

### 8.4.8 FUSIÓN EN FRÍO.<sup>7</sup>

El método tradicional usado para producir la fusión es calentando un plasma a gran temperatura (unos 100 millones °C), y el otro es el método de la inercia como se vio anteriormente.

Estos dos métodos implican el aporte inicial de una gran cantidad de energía, por este motivo se habla de *fusión termonuclear*.

Sin embargo la fusión fría sería capaz de producir reacciones de fusión a temperaturas mucho menores e incluso a temperatura ambiente. Estas reacciones tendrían lugar al disolverse deuterio en un sólido, generalmente paladio.

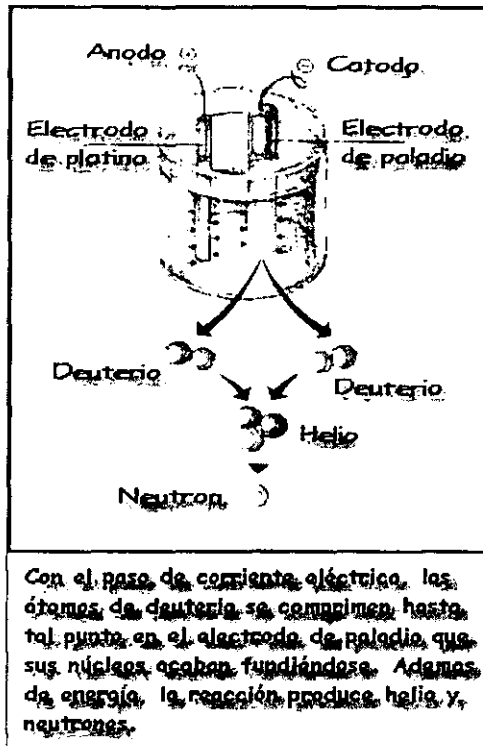
La primera idea sobre la fusión en frío surge en los años 20; pero no fue sino hasta 1989 cuando este sistema saltó a la luz pública que al parecer el Dr. Martin Fleischmann y Staley Pons (de la universidad de Utah) anunciaron la producción de una importante cantidad de energía de fusión con una celda de electrólisis, pero fueron muy criticados sus resultados.

En un artículo publicado en el número 261 del prestigioso **Journal of ElectroAnalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry** con el título **Fusión nuclear inducida del deuterio, Fleischmann y Pons** describen los pormenores de su experimento, reservándose algunos detalles importantes que dificultan su reproducción generalizada.

Dicho experimento constaba de una celda de electrólisis con un cátodo de paladio, un ánodo de platino y como electrolito se utilizaba un compuesto de litio, oxígeno y deuterio (LiOD) disuelto en agua pesada. Cuando se establece una corriente eléctrica, los iones positivos del deuterio tienden a concentrarse entre la estructura atómica del paladio, hasta que se encuentran tan próximos entre sí, como si se ejerciera sobre ellos una presión de 1027 atmósferas. Transcurridos varios cientos de horas, esta proximidad forzada acaba por vencer la tendencia natural de los núcleos a repelerse debido a su misma carga de forma que cuando se supera un cierto umbral crítico, el deuterio alcanza tal grado de compresión en las entrañas del paladio que comienza la reacción de fusión nuclear. Los dos investigadores estiman que por cada vatio empleado en la prueba se obtienen 4,5 vatios extras.

La reacción electrolítica libera deuterio que entra en el paladio y alcanza concentraciones de hasta 0.9 átomos de deuterio por átomo de paladio. Esta celda forma parte de un calorímetro (dispositivo para medir calor), cuya temperatura aumenta en algunas ocasiones indicando un exceso de calor del orden del 10%, es decir, de la celda sale un 10% más de energía que la suministrada por la fuente eléctrica. También aseguraron que habían detectado radiación gamma característica de los neutrones al atravesar el agua pero estos resultados fueron desmentidos posteriormente.





**Figura No.8.3 Experimento de Fleischmann y Pons**  
 Fuente: Internet [http://www.jazzfree.com/jazz6/fontanet/freda/es\\_freda.htm](http://www.jazzfree.com/jazz6/fontanet/freda/es_freda.htm)

ya que no se detectaron los imprescindibles productos de fisión, además no se han podido reproducir los experimentos.

Se conocen tres reacciones de fusión del deuterio (D + D):

$D + D \rightarrow H + T$  Dos núcleos de deuterio (D) producen un núcleo de hidrógeno (H) y un núcleo de tritio (T).

$D + D \rightarrow n + {}^3\text{He}$  Se producen un neutrón y helio-3 (isótopo del helio)

$D + D \rightarrow {}^4\text{He} + \text{gamma}$  Se producen helio-4 y radiación gamma

Las dos primeras reacciones son igualmente probables y si se hubiera producido energía por mínima que fuera los neutrones y el tritio producidos hubieran sido fácilmente detectados, sin embargo esto no fue así.

La tercera reacción es extremadamente improbable, con probabilidad 10 millones de veces inferior, pero según defensores de la fusión fría esta reacción sería catalizada por el paladio, pero tampoco se ha detectado la radiación gamma que emitiría.

Los resultados positivos fueron pequeños y esporádicos. Otros muchos fracasaron.

El laboratorio japonés NHE (New Hydrogen Energy) del MITI presentó en la 6ª Conferencia Internacional de Fusión Fría en Sapporo (Japón) en 1996 una serie de experimentos para comprobar los resultados originales de

Fleischmann-Pons. No se encontró exceso de calor. Incluso los propios Fleischmann y Pons tuvieron muchas dificultades en reproducir esos mismos resultados. Stanley Pons presentó en 1996 una serie de 7 experimentos, de los cuales uno produjo un exceso de potencia del 250%, otro del 150%, otro 'variable' y los otros cuatro sin exceso de calor.

### **Resultados contrarios a la física conocida**

El japonés Jirohta Kasagi y sus colegas de la Universidad de Tohoku realizaron un experimento para comprobar la hipótesis principal de la fusión fría, que a muy bajas energías el ritmo de las reacciones de fusión crece. Este experimento consistió en saturar un metal con deuterio y bombardearlo con un haz de deuterio a diversas bajas energías. Se midió el ritmo de fusiones producidos y se comparó con los valores esperados. El ritmo de fusiones decrece al reducir la energía del haz como cabe esperar debido a la barrera de Coulomb (repulsión electrostática) y no se observó ningún incremento inesperado a muy bajas energías como necesita para justificar los resultados de Fleischmann y Pons.

Finalmente, como ya se ha comentado anteriormente, si la tercera reacción (D+D) es catalizada por el paladio se deberá explicar el mecanismo por el que se suprime la radiación gamma asociada.

En resumen, si un experimento en unas ocasiones da unos resultados y en otras unos resultados totalmente distintos, su estudio queda fuera del ámbito de la ciencia.

### **RESEÑA HISTÓRICA DE LA FUSIÓN EN FRÍO**

La historia de la fusión embotellada comienza en 1926, cuando dos científicos alemanes, Fritz Paneth y Kurt Peters, llenaron una cámara con hidrógeno y paladio. Cuando analizaron los gases encontraron helio, señal de que la fusión se había producido. Al año siguiente (1927) la revista Nature publica un artículo describiendo el experimento de los alemanes, y en 1934 el físico inglés Nelson Rutherford descubrió la existencia de reacciones de fusión en los núcleos de deuterio (hidrógeno pesado). En la década de los cuarenta el físico soviético Andre Sajarov relanzó la idea de que la fusión fría tendría lugar si se sustituyeran los electrones de hidrógeno por fugaces partículas subatómicas, los muones. Pero la fusión, la energía termonuclear del Sol y de las estrellas, no se consiguió hasta la década de los cincuenta, con las tristemente famosas bombas H (de hidrógeno), o bombas termonucleares.

Desde entonces, los físicos nucleares tratan de controlar la reacción para su uso industrial. La comunidad científica no dio crédito a las primeras explicaciones de Fleischmann y Pons. Es comprensible. Los mejores físicos norteamericanos, europeos, soviéticos y japoneses llevan aproximadamente 35 años tratando de imitar las reacciones que se producen en el interior del Sol, sin ningún resultado espectacular a pesar de que las inversiones efectuadas superan ya los 20.000 millones de dólares (2,4 billones de pesetas). Los físicos del laboratorio Lawrence Livermore bombardean sin cesar micro pastillas de deuterio para intentar fusionar los núcleos. Sus colegas de la Universidad de Princeton utilizan enormes monstruos electromagnéticos los tokamaks, para mantener una sopa de núcleos (el plasma) a temperaturas superiores a los 100 millones de

grados centígrados durante una tracción de segundo. Los núcleos se acaban fusionando, efectivamente, pero resulta que para provocar la reacción se consume el doble de la energía producida. Tanto tiempo, tantas inversiones y tantos esfuerzos dedicados a la fusión caliente, y ahora resulta que la solución está en la fusión fría, que además está al alcance de cualquier estudiante que dis ponga de laboratorio en su instituto. Fleischmann y Pons, con dinero de su propio bolsillo (unos 13 millones de pesetas) y armados de rudimentarios instrumentos, han realizado un descubrimiento que abre la puerta a la futura domesticación de la fusión nuclear.

Ante el inesperado anuncio de la fusión nuclear a temperatura ambiente, la comunidad científica ha reaccionado al unisono pero dividida. Para algunos la revolución pendiente acaba de estallar. La fusión fría sería el «descubrimiento más importante desde el fuego». Edward Teller, el padre de la bomba de hidrógeno, ha abandonado el anonimato para declarar: «Seguro que se trata de algo interesante». Eric Storm, responsable del programa de fusión nuclear por rayos láser en el laboratorio Lawrence Livermore, uno de los Goliaths desafiados por Fleischmann y Pons, coincide con Teller pero se muestra más cauto: «Es un proceso de fusión nuclear a baja temperatura y esto es interesante, pero el ritmo de reacción es tan bajo que los pocos vatios de energía térmica que se han observado no parecen haber sido generados por el proceso de fusión». Storm resume el sentir de la mayoría de los físicos que han accedido a declarar su opinión a los medios de comunicación. En general coinciden todos: faltan neutrones, y radiación gamma, con lo cual los vatios de energía extra detectados pueden ser el resultado de un proceso de reacción química, como sostiene también Robert Conn, director del Institute of Plasma and Fusion Research de la Universidad de California: «El evento de la fusión produciría radiación (como neutrones y rayos gamma), y la radiación se puede medir. Si hay realmente fusión, pero sin radiación, entonces esto es el nirvana.

Agustín Grau, Director del Instituto de Investigaciones Básicas del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales), es de la misma opinión y se muestra todavía más categórico: «Fleischmann habría muerto al realizar el experimento de haber obtenido la energía que dice». El mismo día (23 de marzo de 1989) y casi a la misma hora en que Fleischmann y Pons daban su ya celebre y polémica conferencia de prensa, a unos sesenta kilómetros de la Universidad de Utah, en la no menos prestigiosa Universidad Brigham Young,

El físico de la Universidad Brigham Young intentó la fusión fría utilizando muones como catalizadores. En vista de los sucesivos fracasos con estas costosísimas partículas subatómicas, en 1986 decide probar con una célula electroquímica.

El mismo lo explica en un diario autenticado ante notario: «Tomamos en consideración varios metales, desde el aluminio hasta el platino, pero los que resultaron más adecuados fueron el paladio, el litio y el titanio». Ryszard Gajewsky, dirigente del Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, confirma las fechas y los datos: «En 1986 Jones nos informó del nuevo rumbo de sus investigaciones y de su interés por los metales». Fue también Gajewsky quien contactó a Jones en 1988 para solicitarle su opinión sobre la validez de un experimento presentado por un tal Fleischmann.

Al presentar el resultado de sus investigaciones en una conferencia de prensa, Fleischmann y Pons provocaron una reacción, si no nuclear, sí cuando menos explosiva. Las críticas de Bruno Coppi, profesor en el Instituto de

Tecnología de Massachusetts (MIT) y uno de los mayores expertos mundiales en fusión, son de lo más claras y explícitas: «Se trata de un método deplorable. En vez de someterse a un examen crítico por parte de la comunidad científica, Fleischmann y Pons han emitido un comunicado de prensa denso, farragoso y en tono triunfalista». ¿Fusión o confusión?

De momento, la cronología de la búsqueda de la energía eterna queda como sigue: el 3 de abril dos investigadores húngaros reproducen con éxito el experimento de Utah; el 10 de abril son dos químicos del MIT quienes se incorporan a la carrera; al día siguiente le toca el turno a un grupo de científicos de la Universidad de Texas y a otro del Instituto Técnico de Georgia; el 12 de abril, mientras Fleischmann y Jones se reconciliaban en la conferencia internacional de Erice (Sicilia), la agencia Tass confirmaba que Rounar Kouzine y su grupo del Laboratorio de Física de Los Cuerpos Sólidos de Moscú reclama su porción de éxito; el 17 hacen (o propio los italianos del Comisariado de la Energía Atómica y Alternativa; el 18 los checoslovacos de la Universidad de Bratislava; el 22, los brasileños del Instituto de Investigaciones Espaciales; y así sucesivamente.

**El único experimento que aporta algo novedoso** es el realizado por el físico italiano Francesco Scaramuzzi, que ha obtenido la fusión nuclear de forma aún más simple que Fleischmann y compañía, sin agua pesada ni electrodos, sólo con una barrita de titanio sumergida en deuterio gaseoso y a alta presión. Resultado: el deuterio se concentra en la estructura cristalina del titanio hasta que finalmente se produce la fusión.

En conclusión; la Tierra es un planeta en donde la raza humana ha demostrado ser un devorador de energía, obtenida a partir de recursos naturales como el carbón, petróleo, gas natural, elementos químicos principalmente uranio y plutonio entre otros.

En última instancia es la industria de la energía la que regula la economía mundial.

Si se confirma definitivamente que los científicos han conseguido domesticar el fuego de las estrellas, el siglo XXI será muy distinto a como lo imaginábamos hasta ahora. Resulta fácil soñar con que los países del Tercer Mundo tengan a su servicio una nueva fuente energética ilimitada y barata; o que el depósito del coche a fusión esté siempre lleno. Porque, como dijo Carlo Rubbia: «En condiciones óptimas, se podrían obtener al menos 30 Kilovatios con una barrita de platino de tres centímetros cúbicos de volumen».

# Conclusiones

## **CONCLUSIONES**

- Durante los últimos 4 años, a pesar de que la iniciativa privada invirtió 14,545 millones de dólares en PEMEX exploración y producción, esto no impidió que las reservas disminuyeran estrepitosamente durante el año 2000 ya que se pretendía incorporar a las reservas 3,162 millones de barriles de crudo, pero por el contrario ocurrió un descenso en 5.7% en comparación a 1999, cayendo estas en 5.7% en los siete principales campos petroleros que existen en el país, equivalente a 2.1 años de producción a los actuales ritmos de extracción.

Esto se dio como resultado de haber exportado cada vez más con tal de propiciar una caída en los precios del crudo.

Estas cifras nos deben dejar pensando ya que en teoría las reservas están aseguradas para menos de cuatro décadas según la relación reservas vs. producción, pero lo que no se dice es que estos pueden ser un espejismo ya que si consideramos que México posee **56,154 millones de barriles**, estas se encuentran consideradas de la siguiente forma.

**32,614 millones** de estos son **reservas probadas (58%)** siendo el **90% económicamente rentables**, según la metodología asumida por el gobierno federal que adopto criterios de la Society of Petroleum Engineers (SPE) donde participan más de 50 mil profesionales de la industria mundial de petróleo y gas y el World Petroleum Congress (WPC).

Otros **12,196 millones de barriles** considerados como reservas "**probables**" y se caracterizan por ser **50% económicamente rentables** y finalmente **11,343 millones de barriles** de crudo de reservas poco probables de ser explotadas debido a la profundidad, del cual sólo el **10% es económicamente rentable**.

Además para el año 2025 se estima que la población nacional se incrementará pasando de los casi 100 millones actuales a 150 millones ( un incremento de 50% tan solo en los próximos 25 años), así como la demanda por parte del vecino del Norte lo cual implica que de no encontrarse nuevos yacimientos, estos solo podrían estar asegurados solo para 2 ó 3 décadas.

Desde luego se tiene pendiente el desarrollo de yacimientos en aguas profundas del golfo, ahí donde los EUA eran teniendo mucho éxito y posiblemente si nos descuidamos de aquí a que sé de la explotación en estas grandes reservas podrían ser succionadas por empresas productoras de los Estados Unidos.

Por lo tanto es necesario explotar otras fuentes de energía y traer nuevas tecnologías que sean limpias y que se sustenten en recursos de tipo renovable, ya que hoy día el incremento de temperatura global no es algo que solo atente a los países más pobres; éste se ha visto muy favorecido, por la quema de hidrocarburos, causando variaciones climatológicas que representan pérdidas millonarias no solo a México sino también al resto del mundo; Si a esto le añadimos el efecto del niño y de la niña y visualizamos a 20 años ó más, de no hacer algo al respecto el panorama podría presentarse muy desalentador sobre todo en países donde su esquema energético no se haya modernizado y adaptado a las nuevas condiciones.

- Hacer nuevas empresas que produzcan los equipos y refacciones ó componentes para la producción de energía eléctrica no solo generaría una cadena de fuentes de empleo más estables y mejor remunerados, sino también un ahorro considerable de hidrocarburos; tan solo la comunidad Europea tiene instalados más de 12,000 Mw. eólicos y tiene proyectado incrementar esta capacidad a 60,000 para el 2010, en México por el momento no se han cumplido las expectativas para la instalación de estos sistemas en regiones donde se tiene gran potencial.
- Creo que sería interesante darle el impulso a tecnologías no contaminantes que aprovechen los recursos de tipo renovable ya que de esta forma se podría exportar electricidad atrayendo divisas del extranjero, sin tener que quemar nuestras reservas de hidrocarburos propiciando que sean ellos quienes paguen a mediano plazo el costo de dichas tecnologías.
- En lo que compete a la energía nuclear, tal parece que a mediados de la siguiente década esta empezará a declinar, pero existe la gran posibilidad de que esta se reactive ya que los costos de una planta para reactivar plantas viejas es de solo \$10 U.S. dólares en comparación de los \$1,300 por Kw. Para una planta nuclear nueva así como la caída del precio de combustible usado en estos. Por otro lado la ONU recomienda que no se descarte esta tecnología, ya que actualmente la amenaza más seria esta siendo propiciada por la generación de carbono en plantas térmicas, auto transporte entre otros, que favorecen al efecto de invernadero.
- Durante el año 2000 prácticamente se dió el banderazo para poner en funcionamiento los reactores regenerativos (reactores de segunda generación) para uso comercial, esta tecnología lleva más de 4 décadas en investigación y presenta muchas ventajas con respecto a los reactores convencionales de agua liviana (reactores de primera generación) una de estas es el mejor aprovechamiento del uranio. Por lo que si se ha de optar invertir en este tipo de tecnología sería una buena opción, aunque el único inconveniente que se tiene es que la inversión sería recuperada a largo plazo.
- La fusión nuclear por el momento no es una opción ya que según estimaciones, a esta le faltan entre 40-50 años por llegar, aunque con la subida en el precio de los hidrocarburos y la disminución de las reservas de hidrocarburos y ante un incremento de población, mayor desarrollo económico, así como la llegada de nuevos microprocesadores para la obtención de mejores computadoras, podrían acelerar estos la consolidación de dicha fuente de energía.  
Probablemente esta podría estar lista en menos tiempo, pero para eso se requiere un esfuerzo internacional y crear las condiciones de trabajo como en el proyecto Manhattan ó Apolo, pero tal parece que ante los intereses de terceros y al haber sustentado toda una economía en los hidrocarburos, parece un tanto difícil que puedan darse estas condiciones con resultados positivos y contundentes.

*El dilema de la energía*  
Conclusiones

- La oportunidad de invertir en el sector energético en México esta en:
  - ★ Fabricación de sistemas eólicos de 500 – 1,000 Kw. e inversión en plantas productoras de energía eléctrica.
  - ★ Fabricación de sistemas solares fotovoltaicos y colectores de alta temperatura e inversión en plantas productoras de energía eléctrica.
  - ★ Incineradores de basura para la cogeneración de energía eléctrica.
  - ★ Producción de biocombustibles para vehículos automotores.
  - ★ Plantas productoras de hidrógeno.
  - ★ Fabricación de Celdas combustibles para la industria automotriz ó para sistemas de cogeneración de energía eléctrica en empresas y/ó instituciones.  
La capacidad máxima comercial es de 250 kw.
  - ★ Inversión en plantas productoras de energía eléctrica a partir de energía geotérmica.
  - ★ Distribución de Gas natural e inversión en plantas de ciclo combinado para generación de energía eléctrica.
  - ★ En lo referente al uso del petróleo, en vez de ser destinado este para la generación de energía eléctrica, se recomienda ser canalizado al sector petroquímico e invertir en este sector.
  - ★ Plantas hidroeléctricas.
  
- La tendencia mundial para la producción de energía de acuerdo al tipo de fuente es y probablemente será, como se muestra en la tabla siguiente.



*El dilema de la energía*  
*Conclusiones*

Fuente de energía	Recurso	1850	1900	1950	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	
Tradicionales (Madera, carbón vegetal)	Renovable ?	<b>Este recurso no debe consumirse en un futuro ya que forma parte del equilibrio ecológico</b>														
<b>Carbón</b> (mineral)	No renovable															
Reservas estimadas	230 años															
<b>Petróleo</b>	No renovable															
Reservas estimadas	41 años															
<b>Gas Natural</b>	No renovable															
Reservas estimadas	61.9 años															
<b>Energía Hidráulica</b>	Renovable															
Hidroeléctricas																
Mareas																
Olas																
Térmica de Océanos*																
<b>Energía Geotérmica</b>	Renovable															
<b>Energía de Biomasa</b>	Renovable															
<b>Energía Eólica**</b>	Renovable															
<b>Energía Nuclear de Fisión</b>																
Reactores de primera generación	No renovables															
MOX U-235 / U-238	No renovables															
U-235 radiactivo y tóxico	poco abundante															
Reservas de U-235 fisible para algunas décadas																
Reactores de segunda generación																
MOX U-238 / U-239	No renovables															
Reservas de U-238 fisible para varios siglos																
U-238 radiactivo y tóxico	Abundante															
Pu-239 radiactivo y tóxico	Abundante															
<b>Solar</b>	Renovable															
Silicio Si para microprocesadores	Reciclable															
fibra óptica y fotoceldas	Abundante															
Galio Ga para fotoceldas (tóxico)	Reciclable															
<b>Hidrógeno</b>	Renovable															
	Abundante															
<b>Litio LI-7</b>	No renovable															
Pilas para auto transporte	Abundante															
<b>Energía Nuclear de Fusión</b>	No renovables															
Li-6	Poco abundante															
Deuterio	Abundante															
Isótopo He-3	Yacimientos lunares															
		?														

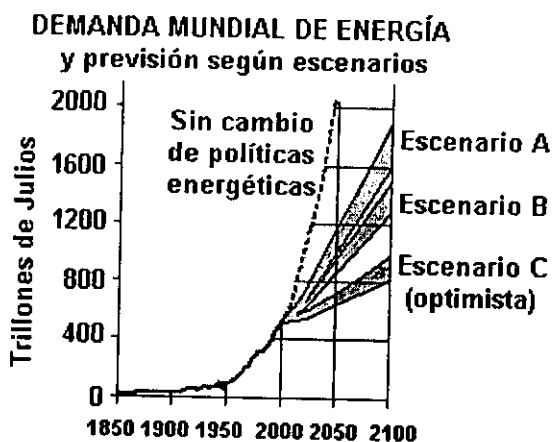
Nota: \* Ya se ha realizado investigación en esta área pero por el momento no se ha querido invertir ya que la recuperación de la inversión es a largo plazo.

Nota No.2: \*\* La energía eólica, muchas veces se considera como producto de la energía solar y entra dentro de esta categoría

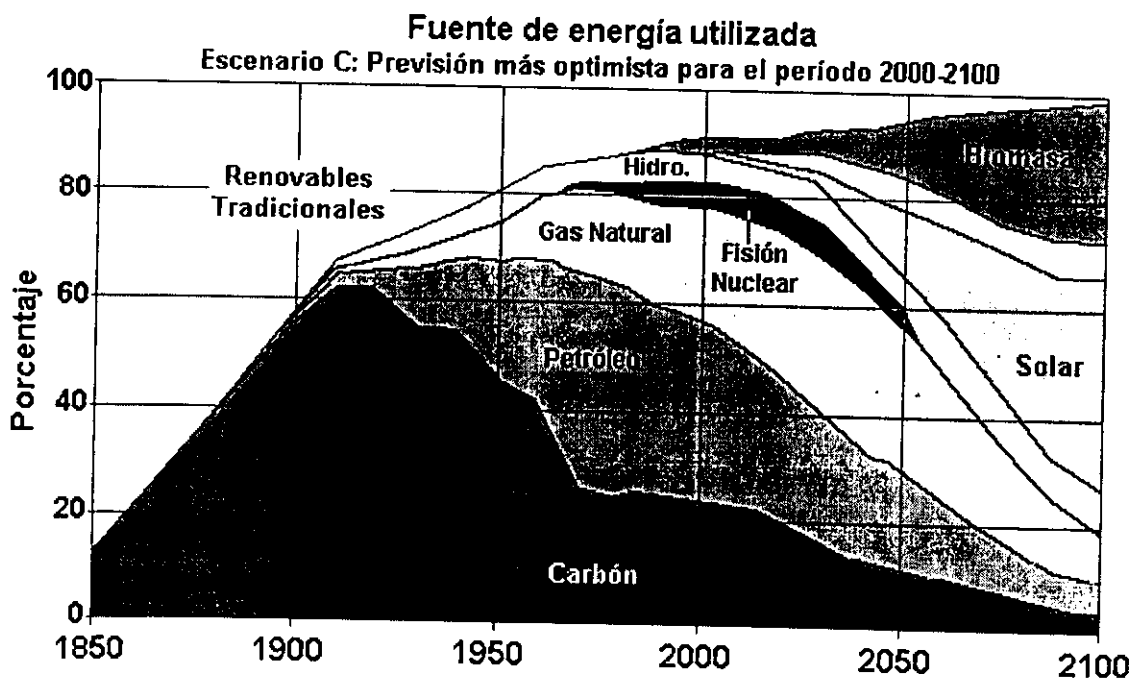
Nota No.3: Las fechas se tomaron en base al aprovechamiento de x recurso para la generación de energía de una forma considerable y de tipo comercial.

Nota No. 4: Las reservas de Carbón, petróleo y gas natural podrían disminuir, ya que solo esta contemplada la relación reservas producción sin considerar el crecimiento de población y la demanda de esta.

- De acuerdo con un estudio realizado por parte de la Organización de Naciones Unidas, el consumo mundial de energía presenta cuatro escenarios para los próximos 100 años, presentándose en el escenario más optimista el consumo de fuentes de energía en un porcentaje como se muestra a continuación:



Gráfica No. 1



Gráfica No. 2

Fuente: ONU Organización de Naciones Unidas febrero 2001

- Por último, en el Dilema de la Energía se analizaron los potenciales para las diversas fuentes de energía así como el consumo producción y reservas en 1999. Además presenta un marco de referencia y visión de hacia donde vamos para las siguientes dos décadas, ya que en base a éste, uno puede vislumbrar cuales serían los mercados energéticos a explotar y en que regiones del mundo podría parecer atractivo el poder invertir.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **CAPÍTULO I “PERSPECTIVAS MUNDIALES EN EL SIGLO XXI”**

- 1) P. Kennedy, *Auge y caída de las grandes potencias*, Barcelona, Plaza y Janés, 1989, págs.200-201; *The Economic History of World Population*, Harmondsworth, Mddsx., 7.<sup>a</sup> edición, 1978, pags. 70ss., 115; W. H. Mc Neil, *Population and Politics Since 1750*, Chrlittesville, Va., 1990.
- 2) *Hacia el siglo XXI*, Paul Kennedy, Ed. Plaza & Janes Editores S.A. cuarta edición agosto 1998 pág. 150.
- 3) <http://www.espacioluke.com/2000/Diciembre2000/Datos/Datos2.html> Datos obtenidos, entre otras fuentes, de Naciones Unidas, Worldwide Fund, Worldwatch Institute, el Instituto de Recursos Mundiales y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- 4) <http://www.espacioluke.com/2000/Diciembre2000/Datos/Datos2.html> Datos obtenidos, entre otras fuentes, de Naciones Unidas, Worldwide Fund, Worldwatch Institute, el Instituto de Recursos Mundiales y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- 5) Mathias, *The First Industrial Nation*, tabla 15, pág. 466.
- 6) *Population Today*, Vol. 16, # 1 january 1988, pag. 3; «World Population Pace Quicknes», *Wall Street Journal*, 14 May 1991, pag. A18.
- 7) *Almanaque Mundial Nuevo Milenio 2000*, Ed. Televisa, págs. P-314, P-315, P-461.
- 8) S. WuDunn, «China, UIT Even More to Feed, Pushes Anew for Small Families», *New York Times*, 16 de junio de 1991, pág 12.
- 9) *World Resouces 1990-1991*; *Almanaque Mundial Nuevo Milenio 2000*, Ed. Televisa pág. 286.
- 10) Sadik, *State of the World Population*, pág. 8; Paul Kennedy, *Hacia el siglo XXI*, Ed. Plaza & Janes Editores S.A. cuarta edición agosto 1998 pág. 46.
- 11) T. C. Quinn et al., «AIDS in Africa: An Epidemiological Paradigm», *Siencie*, 234, noviembre 1986, págs. 955-58; K.Hunt, «Scenes From a Nightmare», *New York Times Magazine*, 12 de agosto de 1990, págs. 24-26, 50-51.
- 12) <http://www.espacioluke.com/2000/Diciembre2000/Datos/Datos2.html> Datos obtenidos, entre otras fuentes, de Naciones Unidas, Worldwide Fund, Worldwatch Institute, el Instituto de Recursos Mundiales y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- 13) Paul Kennedy, *Hacia el siglo XXI*, Ed. Plaza & Janes Editores S.A. cuarta edición agosto 1998 pág. 53.
- 14) P.R. Ehrlich y A. Ehrlich, *The Population Explotion*, Nueva York, 1990, pág. 134. Las cifras de consumo de petróleo proceden de M.L. Wald, «America is Still Demanding a Full Tank», *New York Times*, 12 de agosto de 1990, pág. E3.
- 15) Eberstadt, «Population Change and National Security», pág. 128.

- 16) Technology, Public Policy, and the Changing Structure of American Agriculture, Congreso de los Estados Unidos, Oficina de Asesoramiento Tecnológico, Washington, D.C., marzo de 1986, pág. 4.
- 17) Joseph Harriss, «¿Son seguros los alimentos transgénicos?», Selecciones Reader's Digest, Septiembre de 2000, pág. 48.
- 18) <http://www.espacioluke.com/2000/Diciembre2000/Datos/Datos2.html> Datos obtenidos, entre otras fuentes, de Naciones Unidas, Worldwide Fund, Worldwatch Institute, el Instituto de Recursos Mundiales y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- 19) L.R. Brown et al., State of the World 1990, pág.5.
- 20) L.R. Brown et al., State of the World 1990, pág. 100
- 21) Para un resumen de diversos estudios sobre este tema, véase el cap. 10, Freshwater, en World Resources 1990-1991.
- 22) L.R. Brown et al., State of the World 1990, pág.43, del capítulo «Saving Water for Agriculture».
- 23) <http://www.espacioluke.com/2000/Diciembre2000/Datos/Datos2.html> Datos obtenidos, entre otras fuentes, de Naciones Unidas, Worldwide Fund, Worldwatch Institute, el Instituto de Recursos Mundiales y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- 24) Alcántara Adriana et al, PNUD, Informe sobre Desarrollo Humano 1999; Revista Este País Tendencias y Opiniones, No.109, Abril-2000, pág. 75
- 25) World Resources 1990-1991, cap.2, «Climate Change: A Global Concern», págs. 11-31, P.H.Gleick, Climate Change and International Politics: Problems Facing Developing Countries, Ambio, 18, págs. 333-339; ídem, «The Implications of Global Changes for International Security», Climatic Change, 15,1989, págs.309-325.
- 26) Este párrafo están basados en una carta al autor de Kenneth Keller, miembro para Ciencia y Tecnología, Consejo para Relaciones Exteriores, 30 de enero de 1992.
- 27) World Resources 1990-1991, pág. 14.
- 28) <http://www.espacioluke.com/2000/Diciembre2000/Datos/Datos2.html> Datos obtenidos, entre otras fuentes, de Naciones Unidas, Worldwide Fund, Worldwatch Institute, el Instituto de Recursos Mundiales y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- 29) Para este «consenso» ver el informe del estadounidense Consejo Nacional de Investigación, Changing Climate, Washington D.C., 1983; J.Hansen et al., «Global Climate Changes as Forecast by the Goddard Institute for Space Studies Three-Dimensional Model», Journal of Geophysical Research, 93, 1988, págs. 9,341-9,364, un artículo muy técnico; y R. A. Kerr, «New Greenhouse Report Puts Down Dissenters», Science, 249, 3 de agosto de 1990, págs. 481-482.
- 30) Véanse las ilustraciones y el texto en págs. 86-87 de «Under the Sun-Is Our World Warming?».
- 31) D. Goleman, «Antarctica Sheds Ice and Scientists Wonder Why», New York Times, 14 de agosto de 1990, págs. C1, C8.

- 32) J. Broadus et al., «Rising Sea Level and Daming of Rivers: Possible Effects in Egypt and Bangladesh», en J. G. Titus, ed., *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, vol. IV, Sea Level Rise, Washington, D. C. 1986.
- 33) *Journal of Atmospheric Sciences* 44, 1987, págs. 1,211-1,235.
- 34) Gleick, «The Implications of Global Climate Changes for International Security», pássim.
- 35) D. V. Williams, «Estimated Bioresource Sensitivity to Climate Change in Alberta, Canada», *Climatic Change* 7, págs. 55-69, 1985; B Smith et al., «Sensitivity of Crop Yields and Long Resource Potential to Climate Change in Ontario, Canadá», *Climatic Change*, 14, 1989, págs.153-174.
- 36) «Energy and the Environment», *Economist* agosto de 1991; M. W. Brownw, «93 Nations Agree to Ban Chemicals that Harm Ozone», *New York Times*, 30 de Junio de 1990, pág. A1.
- 37) L.R.Brown et al. *State of the World 1990*, pág. 20.
- 38) Héctor Gil, «El primer sitio es para los E.U.»*Periódico El Sol de México*, 11-Junio-2000, pág. 2/B.
- 39) Héctor Gil, *Periódico El Sol de México*, 11-Junio-2000, pág. 2/B.
- 40) Fuentes Vivar Roberto, «Día mundial del medio ambiente», *periódico Novedades*, 5-Junio-2000, págs. B1, B4.

## CAPÍTULO II “FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES”

- 1) Energy Information Administration, *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001)
- 2) Energy Information Administration, *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, January 2001)
- 3) “MITI’s New Ten-Year Plan Calls for the Development of 11.3 Mil. kW Nuclear Power To Raise Its Generating Capacity to 56.2 Mil. kW by End of FY2007,” *JPET* (May 1998), pp. 2-9.
- 4) Economía nacional, Covantes Hugo, “¿En el continente es deseable un mercado sin fronteras?”, No.236, marzo 2000, págs. 16-17.
- 5) David Shields, «Gas y Electricidad: ¿planeación inteligente?», *Periódico Reforma*, 18-Junio-2001, pag. 8A
- 6) Fonseca Juna Carlos y NOTIMEX, «Insuficiente generación de gas natural en PEMEX», *Periódico Novedades*, 21-Mayo-2001, pág. B3.
- 7) Camarena M. Luz Arcelia, «Potencial de gas natural en Burgos, Sabinas y Piedras Negras evitaran importaciones: PEP (Pemex Exploración y Producción)», *Periódico Uno más Uno*, 21-Junio-2001.
- 8) Esquivel Lourdes, *Revista Entrepreneur*, “Gas Natural una diversidad de opciones”, vol. 8 No.5, Mayo 2000, págs. 32-37.
- 9) Energy Information Administration, *Annual Energy Outlook 2001*, DOE/EIA-0383(2001) (Washington, DC, January 2001)
- 10) “Gas Vehicle Pact Signed,” *Financial Times: International Gas Report*, No. 387 (November 26, 1999), p. 22.

- 11) Standard & Poor's Platt's, World Energy Service: European Outlook, Vol. II (Lexington, MA, 1999), pp. 86-87.
- 12) U.S. Central Intelligence Agency, World Factbook 1999, web site [www.odci.gov/cia/publications/factbook/mo.html#trans](http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/mo.html#trans).
- 13) Energy Information Administration, *Impacts of the Kyoto Protocol on U.S. Energy Markets and Economic Activity*, SR/OIAF/98-03 (Washington, DC, October 1998), Table B1.
- 14) Carl Sagan, *Cosmos*, pág. 335, Ed. Planteta, primera edición 1982, Barcelona España.

\*Definiciones y conceptos de Carbón, Gas Natural y Petróleo, Hunt V. Daniel, Enciclopedia de la energía, vol. 7, México Barcelona 1984.

### CAPÍTULO III "TENDENCIAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA"

- 1) Investigación: Inge Lore Mascher, «México en el Contesto Mundial», Revista Este País Tendencias y Opiniones, No.109, Abril-2000, pág. 77.
- 2) «Para el sector eléctrico se necesitan recursos», periódico Cine Mundial, 15-agosto-2000, pág. 9.
- 3) *Ibid.*, pág. 9.
- 4) Inge Lore Mascher, «Indicadores», Revista Este País Tendencias y Opiniones, No. 109, Abril de 2000, pág. 51.
- 5) Miguel Ángel García, Este País Tendencias y Opiniones, No.109, Abril 2000, pág. 51
- 6) Fuente: Secretaría de Energía, «Prospectiva del Sector Eléctrico 1998-2007», Investigación: Inge Lore Mascher/Gráficas: Gerardo Juárez, «México en el Contesto Mundial», Revista Este País Tendencias y Opiniones, No.109, Abril-2000, pág. 76.
- 7) Investigación: Inge Lore Mascher, «México en el Contesto Mundial», Revista Este País Tendencias y Opiniones, No.109, Abril-2000, págs. 76-77.
- 8) García Mendoza Jorge, «La escasez de combustible es problema de seguridad Nacional», periódico Novedades, 18-Junio-2001, pág. B6

### CAPÍTULO IV "FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES"

- 1) Secretaría de Energía
- 2) Rubbia Carlo y Criscenti Nino, «El dilema Nulear», Ed. Grijalbo S.A. de C.V., México 1991, págs. 159-160.
- 3) Carless Jennifer, *Energía Renovable guía de alternativas ecológicas «fuerza hidroeléctrica (energía de las mareas)»*, México 1995 traducción al español de la obra *Renewable Energy*. Ed EDAMEX, Pág. 135.
- 4) Internet: <http://www.greentje.org/class/ixb13.htm> «Tidal Energy» Agosto 1994.

- 5) Internet: <http://www.nrel.gov/otec/what.html> The Australian Renewable Energy Webside «OTEC Ocean Thermal Energy Conversion»
- 6) Carless Jennifer, Energía Renovable guía de alternativas ecológicas «fuerza hidroeléctrica (energía de las mareas)», México 1995 traducción al español de la obra Renewable Energy. Ed EDAMEX, Pág. 135.
- 7) Internet: <http://www.wavegen.co.uk/resour.htm> de wave power update 2001
- 8) Internet: <http://eeru.open.ac.uk/natta/techupdates.html#> de Wave power update 2001
- 9) Internet: <http://eeru.open.ac.uk/natta/techupdates.html#> de Wave power update 2001
- 10) Douglas M. Considine, Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos, Vol. 5, págs. 5-166, publicaciones marcombo S.A., México-Barcelona 1989.  
Pautman, P.C. 1948, "Power from wind", New York, Van Nostrand.  
Rabenhorst, D.W. 1973, Superflywheel Energy Storage System, Wind Energy Convers. Syst. Workshop Proc. Washington, D.C., 11-13 de Junio de 1973, editado por J. M. Savino, NSF/RA/W-73-006, NSF-RANN Program, Washington, D.C., y NASA-Lewis Research Center, Cleveland, págs. 137-145.  
Von Arx, W. S. 1974, Energy Natural Limits and Abundances. EOS Trans. Am. Geophys. Union, 55, 828-832.
- 11) Douglas M. Considine, Tecnología de las energías: solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos, Vol. 5, págs. 5-284 y 5-285, publicaciones marcombo S.A., México-Barcelona 1989.
- 12) Internet: <http://www.geotherm.org/PotentialReport.htm>. Karl Gawell, Dr. Marshall Reed, Dr. P. Michael Wright, April 7, 1999, Geothermal Energy Association.
- 13) Ibid.
- 14) Internet: <http://geothermalindia.hypermart.net/geoweb.htm> del Congreso Mundial de Geotérmicas 2000.
- 15) Carless Jennifer; Energía Renovable, Ed. EDAMEX S.A de C.V., págs. 46, México 1995.
- 16) Carless Jennifer; Energía Renovable, Ed. EDAMEX S.A de C.V., págs. 47, México 1995.
- 17) Internet: <http://bioenergy.orln.gov/>
- 18) Internet: <http://bioenergy.orln.gov/>
- 19) Internet: <http://bioenergy.orln.gov/>
- 20) Internet: <http://bioenergy.orln.gov/>
- 21) Internet: <http://www.bronzeoak.com/palmoil.htm>
- 22) Internet: <http://www.bronzeoak.com/palmoil.htm>
- 23) Internet: <http://biodiesel.com.ar/>
- 24) Internet: <http://biodiesel.com.ar/>

## CAPÍTULO V "RADIOACTIVIDAD"

- 1) Postigo Luis, Química General Aplicada, Ed. Ramona Sopena S.A., Barcelona 1980, págs. 141, 142.
- 2) Matthew J. Gaines, La Energía Atómica, Ed. Brugera S.A. 1er. Impresión Italia 1970, págs. 97 – 99.

# *Apéndices y Anexos*



APÉNDICE I  
 TABLAS DE CONVERSIÓN

Tabla No. 1 Petróleo Crudo		A		
Desde	Toneladas (métricas)	kilolitros	barriles	galón de EUA
	Multiplicar por			
1 Tonelada (métrica)	1	1.165	7.33	308
1 kilolitro	0.858	1	6.2838	264
1 Barril	0.136	0.0159	1	42
1 galón de EUA	0.00325	0.0038	0.0238	1

Tabla No. 2 Productos		A		
Desde	Barriles a Toneladas	Toneladas a Barriles	Kilolitros a Toneladas	Toneladas a Kilolitros
	Multiplicar por			
Gas LP	0.086	11.6	0.542	1.844
Gasolina	0.118	8.5	0.74	1.351
Kerosina	0.128	7.8	0.806	1.24
Diesel	0.133	7.5	0.839	1.192
Aceite combustible	0.149	6.7	0.939	1.065

Tabla No. 3		A				
Desde	1,000 millones metros cúbicos gas natural	1,000 millones pies cúbicos gas natural (NG)	millones de Toneladas petróleo equivalente	millones de toneladas de LNG	Billón de BTU	millón de barriles petróleo equivalente
	Multiplicar por					
1 millón metros cúbicos gas natural	1	35.3	0.9	0.73	36	6.29
1 millón pies cúbicos de gas natural	0.028	1	0.026	0.021	1.03	0.18
1 millón de toneladas de petróleo equivale a	1.111	39.2	1	0.805	40.4	7.33
1 millón de toneladas de LNG	1.38	48.7	1.23	1	52	8.58
1 millón de BTU (1x10 <sup>9</sup> BTU)	0.028	0.98	0.025	0.02	1	0.17
1 millón de barriles de petróleo equivale a	0.16	5.61	0.14	0.12	5.8	1

Tabla No. 4	
UNIDAD	EQUIVALENTE
1 tonelada métrica	2204.62 lb.
1 kilolitro	6.2898 barriles
1 kilocaloría (Kcal.)	4.18kJ = 3.9668 BTU
1 kilojoule (kJ)	0.239 kcal = 0.948 BTU
1 BTU	0.252 kcal = 1.055 kJ
1 kilowatt-hora (kWh)	860 kcal = 3600 kJ = 3412 BTU

Tabla No. 5	
1 TONELADA DE PETRÓLEO (7.33 barriles de petróleo)	
<b>Unidades</b>	10 millones de kilocalorías
<b>de</b>	42 giga joules (1x10 <sup>9</sup> joules)
<b>Energía</b>	40 millones de BTU
<b>Combustibles</b>	1.5 toneladas de carbón duro
<b>Sólidos</b>	3 toneladas de lignito
<b>Electricidad</b>	12 Megawatts-hora

En estaciones modernas 1 millón de toneladas = 7.33 millones de barriles de petróleo producen 4,000 GWh de energía eléctrica.

**APÉNDICE 2**

**NOMENCLATURA PARA EL SISTEMA INTERNACIONAL (S.I.) Y EL SISTEMA DE LOS ESTADOS UNIDOS.**

CANTIDAD	NOTACIÓN CIENTÍFICA	SISTEMA INTERNACIONAL
1,000,000	$1 \times 10^6$	UN MILLÓN
1,000,000,000	$1 \times 10^9$	MIL MILLONES
1,000,000,000,000	$1 \times 10^{12}$	UN MILLÓN DE MILLONES Ó UN BILLÓN
1,000,000,000,000,000	$1 \times 10^{15}$	UN TRILLÓN
1,000,000,000,000,000,000	$1 \times 10^{18}$	UN CUATRILLÓN

**APÉNDICE 3**

**PREFIJOS EN EL SISTEMA INTERNACIONAL (S.I.)**

<b>Factor</b>	<b>Prefijo</b>	<b>Símbolo</b>
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
$10^1$	deca	da
$10^0$	----	----
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	ato	a

### **Anexo 1**

**Países participantes en el Protocolo de Kyoto Sobre cambio climático y emisiones de gas de invernadero:** Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Croacia, Comunidad Europea, Dinamarca, Eslovaquia, España, Estonia, EUA\*, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Latvia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, Mónaco, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Rusia, Suecia, Suiza, Ucrania.

**Nota:** \*En el abril del 2001 EUA no ratificó el tratado ya que argumentó que primero estaba su economía antes que los aspectos ambientales.

### **Anexo 2**

#### **Países por Región**

- **Países Industrializados:** Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos de Norteamérica (EUA), Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Portugal, Reino Unido, Suecia, Suiza.
  
- **Este de Europa y ExURSS (EE/FSU):**
  - a) **Este de Europa ó Europa Central:** Albania, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Eslovaquia, Eslovenia, Hungría, Macedonia, Polonia, República Checa, Rumania, Serbia y Montenegro.
  - b) **ExURSS (FSU Former Soviet Union):** Armenia, Azerbaiyán, Belarus, Estonia, Georgia, Kazajstán, Kirguiz tan, Latvia, Lituania, Moldavia, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Ucrania, y Uzbekistán.
  
- **Medio Oriente:** Arabia Saudita, Bahrein, Chipre, Emiratos Árabes Unidos (EAU), Irán, Iraq, Israel, Jordania, Kuwait, Líbano, Omán, Qatar, Siria, Turquía y Yemen.
  
- **Países del Golfo Pérsico:** Arabia Saudita, Bahrain, Emiratos Árabes Unidos, Irán, Iraq, Kuwait, Qatar.

#### **PAISES EN VÍAS DE DESARROLLO (Developing Countries)**

- **Países en vías de desarrollo de Asia:** Afganistán, Bangladesh, Bhután, Brunei, Cambodia, China, Corea del Norte, Corea del Sur, Fiji, Filipinas, Polinesia Francesa, Hong kong, India, Indonesia, Islas Salomón, Kiribatí, Laos, Malasia, Macau, Maldivas, Mongolia, Myanmar, Nauru, Nepal, Niue, Nueva Caledonia, Nueva Guinea, Pakistán, Papua, Samoa, Singapur, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, y Vietnam.

- **África:** Algeria, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Camerún, Cabo Verde, República Centroafricana, Chad, Comoras, Congo, Djibouti, Egipto, Eritrea, Etiopía, Gabón, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea Bissau, Guinea Ecuatorial, Libia, Kenya, Lesotho, Liberia, Madagascar, Malawi, Malí, Marruecos, Mauricio, Mauritania, Mozambique, Namibia, Niger, Nigeria, Rwanda, Santo Tomé y Príncipe, Senegal, Seychelles, Sierra Leona, Somalia, Sudáfrica, Sudán, Swazilandia, Tanzania, Tongo, Túnez, Uganda, Zaire, Zambia, Zimbabwe y Sahara Occidental.
  
- **Centro y Sudamérica:**
  - a) **Centroamérica y el caribe:** Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Bahamas, Barbados, Belice, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Granada, Guatemala, Guadalupe, Haití, Honduras, Islas Caimán, Islas Vírgenes, Islas Vírgenes Británicas, Jamaica, Martinica, Montserrat, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Puerto Rico, San Cristóbal y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Trinidad y Tobago, Turcas y Caicos (Reino Unido).
  - b) **Sudamérica:** Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Paraguay, Perú, Suriname, Uruguay y Venezuela.

### **Anexo 3**

#### **Organizaciones y Tratados importantes**

- **MERCOSUR:** Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Chile y Bolivia son miembros asociados.
- **NAFTA:** Canadá, EUA, y México.
- **Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, en inglés OECD):** Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Corea del Sur, Dinamarca, España, Estados Unidos de Norteamérica (EUA), Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Holanda, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Polonia, Portugal, Reino Unido, Suecia, Suiza, Turquía.
- **Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP, en inglés OPEC):** Algeria, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, Irán, Iraq, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar y Venezuela.
- **Unión Europea (grupo de los 15):** Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Portugal, Reino Unido y Suecia.
- **EME (Aparición de economías de mercado):** Centro y Sudamérica, Europa Central, ExURSS, África, Medio Oriente, países de Asia del Pacífico que no pertenecen a la OCDE.
- **Otros:** Excluye a la ExURSS y Europa Central.