



**AMBIENTE 2004:**

**PROBLEMAS Y ALTERNATIVAS**



# **AMBIENTE 2004: PROBLEMAS Y ALTERNATIVAS**

**Bernardo Fontal**

VI Escuela Venezolana  
para la Enseñanza de la **Química**  
Mérida, del 05 al 10 de Diciembre de 2004

---

## VI ESCUELA VENEZOLANA PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

### Edición 2004

El libro *Ambiente 2004: Problemas y alternativas*, fue escrito especialmente como material de apoyo de uno de los cursos ofrecidos en la *VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química*. La *Escuela* es un programa organizado por CELCIEC-ULA, diseñada en base a Cursos de Actualización dirigidos a los docentes de Química de la Educación Básica, Media y Diversificada.

Evaluación de la edición: Bernardo Fontal, Ricardo Contreras

Comité organizador del VI Encuentro con la Química:

Bernardo Fontal, Fernando Bellandi,  
Marisela Reyes, Ricardo Contreras

Autor: Bernardo Fontal

E-mail: fontal@ula.ve

Portada: Yanelly Gavidia

Diseño y diagramación: Smart Service C.A.

Se autoriza la reproducción parcial y total de esta obra, únicamente para fines de enseñanza, respetando los créditos del VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química y de los autores.

Derechos reservados © 2004, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Organometálicos La Hechicera, Mérida 5101, Venezuela. Tlf.: +58 274 2401380, Fax: +58 274 2401286, E-mail: [escueladequimica@hotmail.com](mailto:escueladequimica@hotmail.com)

Hecho en Venezuela  
Depósito legal:  
LF23720045403206



## **TABLA DE CONTENIDO**

1. Introducción
2. El Problema: El acelerado cambio climático
  - 2.1 Causas del problema
  - 2.2 Magnitud del problema
  - 2.3 Indicadores importantes
3. Consecuencias del problema
  - 3.1 Consecuencias inmediatas
  - 3.2 Consecuencias futuras
4. Alternativas al problema
  - 4.1 Fin de la era del petróleo
  - 4.2 Fuentes alternas de energía
  - 4.3 Economía del hidrógeno
  - 4.4 El futuro de la humanidad
5. Bibliografía

---

## EL AMBIENTE 2004: PROBLEMAS Y ALTERNATIVAS

### 1. Introducción

Hace pocos años el problema del Cambio Climático se consideraba como algo que probablemente tendrían que enfrentar nuestros nietos y sus hijos, pero la evidencia actual indica que a nosotros mismos nos tocará enfrentar los rigores de unos cambios climáticos que podrían dirigir el planeta hacia caminos acelerados en el tiempo y de magnitudes y consecuencias insospechadas.

La especie humana ha considerado el Planeta Tierra como una fuente infinita de recursos, con una capacidad infinita para recibir nuestros desechos y la filosofía de la especie ha sido acaparar y malgastar los recursos del planeta como si fuéramos los únicos seres importantes para disfrutar de estos recursos, con una actitud depredadora, despreciando los otros seres vivos con los que compartimos el Planeta. Esta actitud nos está llevando por caminos peligrosos e insostenibles, que podrían fácilmente comprometer nuestra propia sobrevivencia. Nosotros dependemos totalmente de las bondades del Planeta Tierra, pero el Planeta no depende de nosotros.

El Clima de la Tierra es un fenómeno complejo, en el que juegan muchos factores, pero uno muy importante está relacionado con el balance de energía. Todos los seres vivos requieren energía para mantener sus procesos vitales, pero la especie humana ha inventado muchos otros procesos sociales que también requieren de energía, y lamentablemente, utilizan mucha energía. El ser humano moderno tiene una sed insaciable de energía, que ligada al comportamiento también insaciable de la codicia y la avaricia conforman una alianza muy peligrosa que no se detiene ante nada, estando dispuesto aun a sacrificar a su propia especie, por el beneficio de unos pocos.

La enorme actividad humana, incluyendo el aumento casi exponencial del crecimiento poblacional, el consumo casi desenfrenado de fuentes de energía basados en combustibles fósiles no renovables (carbon, petróleo, gas natural), la producción masiva de gases de combustión (dióxido de carbono) que terminan en la atmósfera, la



destrucción incontrolada de los bosques naturales por la quema y la tala, la contaminación de las fuentes de agua potable y del mar, son factores intervinientes en la naturaleza del Problema. La intervención humana en los ciclos equilibrados del planeta están creando situaciones muy riesgosas por las respuestas que dichos ciclos pueden crear, en tiempos muy cortos y de magnitudes gigantescas, que no darán oportunidad de hacer ajustes o adaptaciones a los sistemas vivos del planeta.

En este libro se presentarán los mas recientes indicadores que revelan que el Cambio Climático ya está con nosotros, que si no se toman medidas drásticas muy rápidamente de como realizamos el consumo energético en esta sociedad, si no establecemos control sobre nuestro crecimiento poblacional, si no rescatamos los ecosistemas y reducimos la contaminación, solo nos esperan situaciones caóticas, que escaparán nuestra capacidad de poder copar y de poder remediar.

La especie humana fue privilegiada por la evolución con una capacidad para razonar y un gran poder de adaptación. Hemos avanzado tecnológicamente y creemos estar en una situación de poder atacar cualquier problema que se nos presente. Nuestra visión de nuestro sitio en este maravilloso sistema planetario vivo es obtuso, egoista, distorcionado y limitado. El problema del cambio climático se maneja hoy a nivel político y se manipula y distorciona la información científica de manera que la población no se entere claramente de la situación, siendo este engaño orquestado por países altamente consumidores de combustible y los mayores productores de emisiones de dióxido de carbono como los Estados Unidos y su gobierno altamente influenciado y pagado por los intereses de la industria del carbón y del petróleo. Esta actitud soberbia solo demuestra nuestra infinita ignorancia y la ausencia completa de sabiduría que nos permita entender la magnitud del problema que está ya encima de nosotros y los caminos a seguir para nuestra sobrevivencia. Quizás el futuro permita a algunos sobrevivientes de esta especie recordar lo que un día fue su momento de máximo desarrollo y que lamentablemente también fue el inicio de su propia destrucción.

---

## 2. El Problema: El acelerado Cambio Climático

El problema más importante y urgente que enfrenta la humanidad durante el siglo XXI será el **cambio climático** debido principalmente al **calentamiento global**. Los efectos directos sobre la población ocurrirán tan rápido y serán de tal magnitud que no dará oportunidad sino de adaptación y esfuerzos para la sobrevivencia. Toda la capacidad de la población y de la sociedad y sus instituciones serán puestas a prueba cuando los efectos se incrementen y aceleren: es muy probable que la democracia sea debilitada y se impongan los regímenes totalitarios, para poder copar con el caos generado.

### 2.1. Causas del problema:

La comunidad científica internacional que agrupa más de 2000 científicos de 100 países, encargada del último informe IPCC (2001) (UN Intergovernmental Panel on Climate Change) ha declarado que el efecto invernadero ya está con nosotros y que su origen es definitivamente de origen antropogénico, o sea que la actividad humana está incidiendo directamente en el equilibrio térmico terrestre.

Es la utilización acelerada de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como la fuente energética primaria de la sociedad moderna la más probable causa del calentamiento global. Los combustibles fósiles, un recurso natural no renovable, al ser quemados para producir energía en las plantas termoeléctricas y en los vehículos producen **dióxido de carbono**, que tiene características de **gas invernadero**. Cualquier gas invernadero (dióxido de carbono, agua, metano, clorofluorocarbonos) presente en la atmósfera terrestre absorbe la radiación infrarroja (o sea el calor) que la tierra emite y la retiene en la atmósfera. Todo el dióxido de carbono derivado de la combustión de combustibles fósiles es emitido a la atmósfera y allí ejerce su efecto de retener el calor. Al calentarse la atmósfera, ésta puede retener una mayor cantidad de vapor de agua, aumentando aun más el efecto invernadero.



La cantidad de dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , en la atmósfera está aumentando en forma acelerada, siendo actualmente de 379 partes por millón (ppm), 31 % mayor que en 1750: este es un nivel que el planeta no ha experimentado por 420000 años y probablemente en los últimos 20 millones de años. La cantidad de  $\text{CO}_2$  se mantuvo en equilibrio alrededor de 280 ppm desde la última época glacial (hace 10000 años), pero empezó a aumentar a partir de la Revolución Industrial a mediados del siglo XIX. Cerca del 75% del aumento del  $\text{CO}_2$  en los últimos veinte años es atribuible a la quema de combustibles fósiles. Cada año estamos enviando a la atmósfera mas de 6 billones de toneladas de dióxido de carbono. El resto es debido a la deforestación y cambios en el uso de la tierra. Se estima que la mitad del dióxido de carbono se absorbe en el mar y los suelos, y el resto queda en la atmósfera. Si continua el incremento en el uso de combustibles fósiles sin ningún control, la cantidad de dióxido de carbono puede llegar hasta 450 ppm para el 2050, una cantidad que ni siquiera en épocas geológicas ha experimentado la tierra. El cambio en la temperatura promedio del planeta con esa cantidad de  $\text{CO}_2$  puede estar entre 4,5 °F y 10 °F, que causaría enormes efectos sobre el clima, aumentando los eventos climáticos extremos.

El ciclo del carbono del planeta tierra incorpora varios sumideros o reservorios para el dióxido de carbono de la atmósfera, siendo la solubilidad en el mar y la incorporación de  $\text{CO}_2$  en todas las plantas los mas importantes. La continua y acelerada destrucción de los bosques está reduciendo la capacidad de estos para utilizar el  $\text{CO}_2$ , y se han convertido en fuentes importantes de  $\text{CO}_2$ . Los mares son el reservorio mas grande de  $\text{CO}_2$ , pues este gas se solubiliza en aguas marinas y entra en equilibrio con el ácido carbónico, el ión bicarbonato y el ión carbonato. Este último ión en combinación con el calcio a través de esqueletos de animales marinos es responsable de la formación de las rocas sedimentarias calcáreas, proceso que ocurre durante cientos de miles o quizás millones de años. Le toma quizás miles de años al  $\text{CO}_2$  absorbido en la superficie marina, llegar a equilibrarse con las aguas marinas profundas. Otro aspecto importante en el ciclo del carbono es que la solubilidad de los gases disminuye al aumentar la temperatura del líquido. O sea si aumentamos la temperatura de los mares, el proceso de disolución podría revertirse. También se considera que en los suelos

agrícolas y en las grandes extensiones de tundra en el hemisferio norte, se encuentra una cantidad considerable de  $\text{CO}_2$  atrapado, pero que puede liberarse al convertirse los suelos en desiertos y al descongelarse la tundra, ambos procesos en acelerado crecimiento en todo el planeta. Estos fenómenos pueden fácilmente dirigir el fenómeno climático desatado hacia direcciones imprevistas que amplifican las condiciones extremas.

El otro gas invernadero importante es el metano, el principal componente del gas natural, otro combustible fósil. Mas de la mitad de las emisiones de metano son producidas por la actividad humana: producción petrolera y gasífera, cultivos de arroz y cría de ganado (la bacteria intestinal de los bovinos produce mucho metano); igualmente, mucho metano está atrapado en la tundra congelada, pero se libera al derretirse. La cantidad de metano ha incrementado en un 151% desde 1750, un aumento sin precedentes en los últimos 420 000 años. Otro gas invernadero importante es el óxido nitroso,  $\text{N}_2\text{O}$ , que ha aumentado en un 17% desde 1750. El  $\text{N}_2\text{O}$  se produce naturalmente por acción bacteriana en los suelos. Cerca de un tercio del aumento es atribuido a actividades humanas: de los criaderos de ganado, la industria química y el uso intensivo de fertilizantes químicos en la agricultura. El aumento en dióxido de carbono es responsable del 70% del calentamiento global, metano contribuye un 24% y el óxido nitroso un 6%.

## 2.2 La magnitud del problema

El clima del planeta tierra es un fenómeno caótico que depende de muchos factores y que tiene variaciones naturales que se manifiesta en los cambios entre el día y la noche, en los cambios de estaciones anuales, en las variaciones producidas por la distancia promedio al sol, hasta las oscilaciones geológicas que ha experimentado el planeta durante su larga vida. Las manifestaciones climáticas si reflejan de alguna manera el balance térmico que la tierra con su atmósfera y su hidrósfera han logrado respecto a la energía recibida desde el sol. La evolución del clima terrestre, incluyendo la evolución de la biósfera, han estado relacionadas a la presencia de los gases atmosféricos y su efecto invernadero. Este efecto ha mantenido la temperatura terrestre



y sus variaciones temporales dentro de rangos muy adecuados para mantener la vida y su increíble biodiversidad. Esto hace del planeta tierra, el único en el sistema solar capaz de mantener la vida como la conocemos.

El cambio de la temperatura promedio del planeta en el último siglo se estima alrededor de  $1,1 \pm 0,36$  °F. (informe IPCC, 2001). En la Antártica el aumento ha sido de 5 °F en los últimos veinte años. La velocidad de cambio se ha acelerado desde los años 1970 y se considera ahora como de 3 °F/ siglo. Esto llevaría a un cambio en 5,5 °F para el año 2100, aunque algunos científicos especulan que podría alcanzar entre 2,52 y 10.44 °F (según modelos climáticos), si el proceso de retroalimentación de generación de CO<sub>2</sub> de los reservorios como el mar se desbordan y empieza el proceso de retroalimentación positiva. Un cambio de esta naturaleza nunca ha sido experimentado por el planeta en tan corto tiempo, y naturalmente los seres vivos nunca han estado en una situación de semejante tensión.

El nivel de los mares ha aumentado en el último siglo cerca de 40 centímetros (entre 0,1 y 0,2 metros) y se considera que podría aumentar cerca de 11 pulgadas/ año en un futuro próximo, dependiendo del grado de deshielo de los glaciares y los polos y el grado de expansión de los mares por el aumento en la temperatura. Un derretimiento de la cantidad de agua acumulada en forma de hielo del planeta puede cambiar el nivel del mar en varios metros, siendo esto catastrófico para muchas isles-países y la mayoría de las zonas costeras mundiales.

El aumento de situaciones de clima extremo, característico de un sistema planetario que estaba equilibrado anteriormente y que se ha sacado de su situación de equilibrio, ha caracterizado el clima de las últimas décadas. Ha aumentado el número e intensidad de lluvias torrenciales, de situaciones de sequía extrema, del número de tornados, de huracanes y tifones, del número de días con calor extremo, han aumentado las temperaturas nocturnas durante los veranos, igualmente también han aumentado las ventiscas y el número de pulgadas de nieve durante los inviernos en el hemisferio norte.

Las estaciones de primavera están ocurriendo varias semanas antes y las plantas están germinando mas temprano, los insectos están saliendo de sus huevos mas temprano y las aves están migrando mas temprano. El límite de bosques septentrionales se ha movido varias millas al norte y varios cientos de metros mas alto en las montañas. Los cultivos están siendo sometidos a mayores rigores de temperatura, reduciendo la productividad de los campos. Los daños a los cultivos por falta de agua en las sequías o por exceso de agua en las lluvias torrenciales empieza a alcanzar magnitudes alarmantes. Con el aumento de la temperatura promedio, muchas enfermedades transmitidas por mosquitos como el dengue, la malaria, la fiebre amarilla, están expandiéndose hacia mayores latitudes y mayores altitudes.

El calentamiento global se siente ahora en todos los ámbitos planetarios, en todos los países y en todas las épocas del año. Ciertas regiones serán mas susceptibles a los cambios y otras sentirán con mayor rigor los extremos del clima. La gran mayoría de la población mundial sentirá las consecuencias del cambio climático, pero los mas vulnerables serán las poblaciones mas pobres de los países en desarrollo, especialmente los que viven en zonas costeras o que dependen de la agricultura marginal para su subsistencia.

### **2.3 Indicadores importantes**

Cambios en temperatura: Desde 1980 hemos tenido los diez años mas calientes en la historia. Los cinco años consecutivos más calientes de la historia empezaron en 1991. El año 1998 reemplazó a 1997 como el mas caliente en la historia humana y 2001 reemplazó a 1997 como el segundo mas caliente. Entonces 2001 fue reemplazado por el 2002. La década de los 1990 fueron los mas calientes al menos del último milenio y el planeta se está calentando mas rápido que cualquier momento en los últimos 10000 años. Los océanos se han calentado 0,1 °C hasta una profundidad de 3000 metros en los últimos cincuenta años. El gran reservorio térmico del planeta y el nivelador del clima son los mares, y se considera que el clima no ha variado demasiado porque gran parte de la energía está calentando los mares. El pH del mar ha cambiado mas en los últimos 100 años que en los 10000 años previos debido a la disolución acelerada de



dióxido de carbono. Después de la última era glacial, el pH de los mares era de 8,3. Para el principio de la Revolución Industrial había cambiado a 8,2 (en 10000 años) y es de 8,1 actualmente (en 100 años). Los efectos en la cadena alimenticia marina pueden ser desastrosos.

Estudios de muestras de los suelos en bosques en Alaska muestran que la temperatura del suelo ha aumentado de 2 a 5 °C (de 3,6 a 9 °F) durante un siglo. Durante Diciembre de 1994 mediciones en el océano Artico profundo muestran un aumento de 1 °C en los últimos años. Estudios de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en nueve estaciones al norte del Círculo Artico muestran que la temperatura ha aumentado cerca de 5,5 °C (9,9 °F) desde 1968. Medidas en Enero de 1996 indicaron que la temperatura del agua en la superficie en la península Antártica ha aumentado entre 4 y 5 °F en los últimos 50 años. Los modelos climáticos predicen que las zonas cerca de los polos serán muy susceptibles al calentamiento global.

*Deshielo de los hielos polares y glaciares:* En Septiembre del 2003, la mas grande masa de hielo del Artico- de 3000 años de antigüedad, 80 pies de espesor y 150 millas cuadradas- colapsó debido al calentamiento de las aguas superficiales circundantes. La plataforma de hielo Ward Hunt, ubicada 500 millas del polo Norte, cerca de la isla Ellesmere en Canadá se quebró en dos partes, drenando un enorme lago de agua dulce que retenía. El espesor del hielo del Artico se ha reducido dramáticamente en los últimos 20 años: en 1980 el espesor era de 150 pies, para 2003 se había reducido a menos de la mitad de ese valor. Los glaciares en Groenlandia se han derretido cerca de tres metros en altitud y cientos de kilómetros cuadrados en área cerca de las costas durante el verano. Desde 1993 ha venido perdiendo tres millas cúbicas de hielo por año, suficiente agua para cubrir el estado de Maryland con dos pies de agua. Si la temperatura promedio sigue creciendo, la cubierta de hielo de Groenlandia puede desaparecer, aumentando el nivel de los mares en siete metros. Este influjo de agua dulce en el Atlántico norte, puede modificar la salinidad y la temperatura del océano, modificando la corriente cálida del Golfo que modifica el clima de los países del

hemisferio norte, principalmente de Europa, haciendo mucho mas benigno los inviernos. Si la corriente del Golfo se llegara a parar, podría enviar los países del norte hacia un congelamiento profundo. Si el nivel de los mares fuera a crecer en 10 metros en los próximos 1000 años, las inundaciones cubrirían un área del tamaño de los Estados Unidos. La plataforma Larsen en la Antártica perdió un pedazo del tamaño de Rhode Island en la primavera del 2002, mientras que cinco de las nueve plataformas de hielo en la Península Antártica se han desintegrado en los últimos 50 años.

La mayoría de los glaciares de la tierra han venido derritiéndose durante las dos últimas décadas. Entre un tercio y la mitad de los glaciares de montaña existentes podrían desaparecer en los próximos cien años.(IPCC, 1995) Los glaciares pequeños han perdido mas del 10% de su masa, mientras los glaciares alpinos han perdido mas del 50% de su masa en el siglo pasado. Este deshielo pudo haber hecho subir el nivel del mar media pulgada desde 1960. Los glaciares en Indonesia han retrocedido a la velocidad de 45 metros al año, y en general los glaciares en latitudes medias han acelerado su retroceso de 30 a 45 metros por año entre 1971 y 1993. Estudios de muestras del hielo en las mesetas Tibeanas indican que los últimos 50 años han sido los mas calientes en 12000 años. Las velocidades mayores de retroceso se encuentran en los glaciares de los Andes Peruanos: esta velocidad medida entre 1963 y 1983 se ha triplicado entre 1983 y 1991, con un aumento de siete veces la pérdida de volumen de hielo. Los glaciares alrededor de Chacaltaya, el pico mas alto de Bolivia, están retrocediendo treinta pies por año. Comunidades rurales andinas en Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia ya están perdiendo el agua que necesitan para tomar y para irrigación de cultivos. Entre 1963 y 1987 la cobertura de hielo del monte Kenia en Africa ha disminuido en un 40 %. El famoso monte Kilimanjaro perderá toda su nieve en 20 años. En la India, los glaciares de las montañas Himalayas podrían desaparecer dentro de solo treinta años. Esta rápida pérdida del hielo glacial y de los polos hará perder toda la información allí recogida de las características climáticas de eras pasadas. El aumento en la temperatura de los mares se hará sentir fuertemente en las zonas montañosas de los trópicos por el aumento en la humedad del aire.



*Efectos climáticos extremos y sus consecuencias recientes:* Si alguien quiere convencerse sobre la situación actual del clima y los indicios de que el cambio climático está con nosotros, solo tiene que escuchar o leer las noticias mundiales sobre eventos climáticos extremos o analizar lo ocurrido durante las dos últimas décadas en el clima mundial y el impacto que ha tenido en la población. El resumen general es que los eventos se salen de cualquier análisis de variabilidad natural. A continuación destacaremos algunos de esos eventos.

En la estación de huracanes del año 2004 la predicción es de cerca de 12 eventos entre huracanes y tormentas tropicales, de los cuales 4 o 5 serán de magnitud 3 o mayor. Ya para Septiembre, las islas del Caribe y la península de Florida han sido azotados por 5 eventos mayores que han dejado cientos de muertos y billones de dólares en pérdidas materiales. Estos huracanes y tormentas tropicales se generan en las aguas cálidas del Atlántico ecuatorial y migran hacia el noroeste, ganando energía de las aguas calientes del mar y alcanzando vientos de hasta 250 km/ hora. El poder destructor de estos eventos es inmenso y simplemente reflejan el hecho que la atmósfera y los mares han acumulado cantidades enormes de energía que alimentan estos eventos climáticos extremos.

En Agosto del 2003 la ola de calor en Europa se mantuvo aun durante las noches, lo que no permitió que la población pudiera recuperarse del abrazante calor diurno, dejando un total de 35000 personas muertas por efectos directos del calor. La ola de calor produjo temperatures record en Inglaterra, propició los peores incendios forestales en 50 años en Portugal y causó 11000 muertos en Francia. En la primavera del mismo año, 1400 personas murieron durante la ola de calor en India y Pakistan. El año anterior, el número de muertos fue de 1000 en la India. En Estados Unidos se reportaron un record de 562 tornados en el mes de Mayo del 2003. En el verano del 2003, la gran demanda de electricidad hizo colapsar la red eléctrica del noreste de Estados Unidos.

Durante 2002, mas de 1000 personas murieron durante una ola de calor en la primavera de la India. Las inundaciones del verano en Rusia, la República Checa y Alemania fueron las peores en la historia. Incendios forestales consumieron mas de 5 millones de acres en el Oeste de Estados Unidos y el norte de Canadá. Condiciones de sequía se extendieron por mas de la mitad de Estados Unidos. En la India, mas de 235 millones de personas quedaron en la oscuridad cuando la red eléctrica colapsó debido a que las fuentes hidroeléctricas se secaron. El virus del Oeste del Nilo se propagó por 42 estados de los Estados Unidos y se infectaron mas de 250 especies de mamíferos, insectos y aves. En el Sur de Asia mas de 12 millones de personas fueron desplazadas por severas inundaciones.

A principios del 2001, Inglaterra tuvo el invierno mas húmedo en 270 años. En Enero y Febrero dos ventiscas sucesivas en el norte de la China, dejó incomunicados mas de 100000 pastores, muchos de los cuales murieron de hambre. En el 2001, en el sur de Florida, la peor sequía en 100 años redujo la producción de cítricos y propició el inicio de mas de 1200 incendios forestales. En Mayo, mas de 40 personas murieron en la primavera mas caliente en la historia de Pakistan. En Junio, Houston sufrió la tormenta mas costosa en la historia moderna, cuando la tormenta tropical Allison dejó caer 35 pulgadas de lluvia en una semana, dejando 6 billones de dólares en pérdidas. Al final de Julio una pronunciada sequía en América Central había dejado mas de 1,5 millones de campesinos sin cosecha, y cerca de 1 millón de personas al punto de la malnutrición. En Irán una devastadora sequía dejó mas de US\$2,5 billones en pérdidas agrícolas. La sequía fue temporalmente interrumpida por las peores inundaciones repentinas en 200 años, que mató a 500 personas. En Octubre del 2001, se documentaron 92 tornados en Estados Unidos, en una época del año normalmente tranquila. En Noviembre, en las peores inundaciones en la historia de Argelia, dejo mas de 1000 víctimas. En la ciudad de Boston, después de marcar records de calor en Octubre y Noviembre, el 1 de Diciembre la temperatura era de 71 °F (21,7 °C)

*El fenómeno de El Niño:* La Oscilación del Sur (SO, Southern Oscillation), tiene un evento conocido como El Niño, que corresponde a una masa considerable de agua caliente que periódicamente sale a la superficie en latitudes ecuatoriales en el este del



océano Pacífico. Los efectos del Niño son de muy grande alcance, ya que el intercambio de energía con la atmósfera modifica la corriente de chorro (jet stream) que tiene efectos en el clima a nivel mundial. El Niño produce violentas tormentas en el Pacífico, incluyendo a Sur América, inundaciones a todo lo largo de California y la Costa del Golfo en Estados Unidos, y sequías en Australia y África. La mayoría de los eventos El Niño duran solamente un año o dos, y aparecían cada siete años, pero a partir de 1996 los eventos recientes de El Niño – que han durado cinco años y ocho meses- es un evento con una probabilidad de uno en 2000 años, probablemente producido por el efecto invernadero. El evento de El Niño es frecuentemente seguido como a cuatro años por La Niña, que corresponde a una masa de agua fría que surge a la superficie en el este del Pacífico. La Oscilación del Sur es una gran interacción compleja entre el océano Pacífico y la atmósfera global. El patron entre El Niño y La Niña ha cambiado desde mediados de los 1970. Los mas fuertes eventos de El Niño ocurrieron en 1982- 1983 y 1997-1998 y el mas largo concluyó en 1995. Todavía se están analizando los estragos producidos por El Niño de 1997-8. El efecto invernadero está canalizando energía con mayor rapidez y en mayor cantidad que permite eventos de El Niño con mas frecuencia y con mayor poderío. Estudios utilizando el crecimiento de barreras coralinas que se remontan 130 000 años, indican que nunca ocurrieron eventos de El Niño con la magnitud de los últimos cien años, siendo el evento de 1997-8 el mas severo. Enre los eventos extremos que generó están: extensas inundaciones en Agosto de 1998 en Korea, y en la India y Bangladesh los meses siguientes. Las inundaciones sacaron el rio Yangtze en la China de su cauce dejando mas 3000 muertos, 230 millones de personas sin hogar y US\$ 30 billones en daños. El desastre más costoso en término de pérdidas humanas atacó el Caribe tarde en Octubre , cuando el huracán Mitch dejó 11000 muertos en Honduras, Nicaragua, Guatemala y El Salvador, destruyendo cosechas con lluvias torrenciales y destrozando practicamente toda la infraestructura de esos países.

### 3. Consecuencias del Problema

Considerando que el problema del cambio climático como consecuencia del efecto invernadero ya está con nosotros, es necesario estar muy claros sobre las consecuencias que podemos esperar de este cambio, especialmente del incremento en frecuencia e intensidad de eventos extremos. Todos los seres vivos de este planeta incluyendo la especie humana, estamos adaptados al clima natural y sus cambios regulares. Nuestras vidas giran alrededor de los cambios diurnos y nocturnos, cambios en las estaciones y cambios con la altitud. La vida normalmente se desarrolla dentro de rangos bastante estrechos de temperatura, de altura, de humedad, de luminosidad, de presión atmosférica, etc. A pesar de nuestra capacidad adaptativa y el uso de la tecnología, nuestra vida también se desarrolla normalmente dentro de rangos estrechos. Cualquier disturbio en el comportamiento del clima, tendrá sus consecuencias inmediatas y no podremos evadirlas, aunque trataremos de adaptarnos a los cambios.

#### 3.1 Consecuencias inmediatas.

La velocidad con que están ocurriendo los cambios puede poner a prueba la capacidad de los seres vivos en general y de la especie humana en particular para lograr adaptarse a esos cambios y sobrevivir, principalmente en los procesos vitales: alimentación, resguardo del medio ambiente, mantener una temperatura corporal adecuada, sobrevivencia de las crías, copar con los desechos del metabolismo, etc. La especie humana añadiría calidad de vida y confort, pero llegado el momento estos aspectos serán secundarios frente a la simple sobrevivencia.

Si los cambios ocurren gradualmente, los sistemas vivos y los ecosistemas responden adaptándose a los cambios. Las plantas y los insectos son buenos indicadores de la dirección y magnitud del cambio. La especie humana ha perdido esa sensibilidad, ya que con la tecnología modificamos nuestro entorno mas inmediato y lo hacemos mas tolerable, pero todo con un costo energético alto: pensemos en la cantidad de energía



necesaria para mantener el ambiente acondicionado en el hogar, o en el trabajo o en el auto, ya sea mas frío o mas caliente, que las temperaturas externas. Para cambios mas acelerados, todos los seres vivos, animales y plantas acuáticos y terrestres, estarán sometidos a fuertes tensiones, que pudieran desembocar en su merma o simple extinción. Cómo la especie humana logrará responder dependerá de la tecnología disponible y las fuentes energéticas accesibles. Se especula que los países mas avanzados tecnológicamente y con mayores recursos económicos podrán copar mejor con el cambio climático que los países mas pobres, con mayores poblaciones, menos infraestructura, tecnología menos avanzada y menores recursos económicos. Pero la complejidad de las sociedades modernas en los países mas ricos y la insaciable demanda energética a la que se han acostumbrado, las hace bastante mas vulnerable a la escasez de los recursos.

Las consecuencias mas inmediatas se sentirán a nivel local, aunque ocurrirán en todas las regiones del mundo, lo mas probable como consecuencia de eventos climáticos extremos. Los efectos tendrán mayores impactos en pérdida de vidas humanas, daños materiales y daños a la agricultura, si los eventos climáticos extremos ocurren en zonas mas pobladas, en zonas costeras o zonas cercanas a los ríos, o suelos pertenecientes a antiguas cuencas hidrográficas. Todas estas zonas son susceptibles a inundación por exceso de lluvia, que podría estar asociada a tormentas, a tornados, a huracanes y tifones. La cantidad de centímetros (o pulgadas) que pueden caer en un tiempo corto en esos eventos extremos puede exceder la capacidad de la zona o región de drenar el agua, produciendo inundaciones, aludes de tierra y agua, inundaciones repentinas, etc. Uno de los efectos mas devastadores es la destrucción de las cosechas agrícolas, que genera escasez de alimentos, creando hambruna y malnutrición en la población. La desnutrición de la población la hace mas susceptible a las enfermedades, especialmente las enfermedades asociadas a la baja calidad del agua después de las inundaciones como las diarreas, hepatitis, cólera. Igualmente las lluvias y tormentas crean situaciones favorables para la cría de insectos y mosquitos que transmiten enfermedades como la fiebre amarilla, el dengue, la malaria, la fiebre del Este del Nilo, etc.

El otro extremo de los eventos climáticos es la ausencia de lluvia por períodos largos que produce sequía, destrucción de cosechas y vegetación. Si la sequía es prolongada, conduce eventualmente a la pérdida de la capacidad de los suelos y desertificación. Las consecuencias en las poblaciones humanas, los rebaños y los ecosistemas son desastrosas, conduciendo eventualmente a la extinción de especies y la migración masiva de poblaciones hacia regiones mas favorables para la supervivencia.

### **3.2. Consecuencias futuras.**

Los estudios de los cambios climáticos en eras geológicas muestran claramente que la respuesta del sistema planetario a las variables que intervienen en el clima, tiene la característica de ser muy sensible a condiciones de amplificación del cambio haciendo que los efectos se desencadenen no en cientos o miles de años sino en decenas de años. Por ejemplo la evidencia parece mostrar que el fin de la última era glacial pudo haberse precipitado en menos de diez años. Esto nos hace pensar que las consecuencias futuras pudieran aparecer mucho mas rápido que lo que sospechamos.

*Efectos en el nivel del mar:* El nivel del mar ha subido entre 0,1 y 0,2 metros durante el último siglo, o cerca de un décimo de pulgada por año, siendo la velocidad más rápida que en cualquier momento de la historia humana. Considerando que los océanos cubren el 75% de la superficie terrestre, y que su volumen es enorme, cualquier aumento de temperatura producirá una expansión del volumen marino que tendrá consecuencias muy graves en todas las zonas costeras bajas. Los primeras regiones que sentirán el impacto serán las islas en los diferentes océanos, desde las Filipinas a Jamaica. Muchas islas naciones prácticamente desaparecerán si en los próximos cien años los mares crecen entre 4 y 7 metros en nivel del mar, dependiendo del grado de deshielo de los glaciares y los hielos polares y del grado de aumento de la temperatura global. Esto será mas severo durante los eventos extremos de tormentas tropicales, huracanes y tifones, cuando el nivel del mar puede producir oleajes de 25 metros. Hasta un 60% de las tierras pantanosas costeras mundiales serán anegadas y en solo Estados Unidos se inundarían 5000 millas cuadradas de costas bajas. Países como Bangladesh y la Islas Maldivas son muy vulnerables frente a las inundaciones.



Bangladesh, con casi la mitad del país formado por un delta con elevaciones promedio de 12 metros, ha perdido 600 000 personas en ciclones y oleajes de tormentas durante los últimos 30 años. En los próximos 50 años, la vulnerabilidad del país y la destrucción de las costas podría producir 26 millones de refugiados por las inundaciones. Otros 12 millones serán desplazados del delta del Nilo en Egipto. La situación en la China es muy delicada, ya que la mitad de las ciudades chinas están en la costa y 40 % de los 1,2 billones de habitantes viven en la costa. Si no se toman medidas como barreras y muros de contención en las zonas costeras, se proyectan pérdidas del orden de US\$1,2 billones. En Mayo del 2003 la peor inundación en Sri Lanka mató 300 personas, dejó 500 desaparecidos y 350 000 personas sin casa.

*Efectos en la agricultura y en los ecosistemas:* La mayoría de la agricultura a nivel mundial, incluyendo los países desarrollados donde de agricultura está altamente mecanizada, los cultivos dependen fuertemente de los períodos de lluvia para regar los sembradíos. La humedad traída por la lluvia es complementada por agua de regadío, que es tomada de los ríos cercanos o de las aguas subterráneas. La disponibilidad de agua para regadíos está escaseando cada vez más debido a la gran demanda para producir alimentos y para proveer de agua potable para beber para los grandes asentamientos humanos y el crecimiento poblacional de las grandes ciudades. Igualmente el desarrollo industrial y el comercio requieren cada vez más agua potable, entrando en competencia con la necesaria para la agricultura. Los acuíferos a nivel mundial se están agotando y sus niveles han bajado considerablemente, al punto que ya tiene niveles críticos en las zonas agrícolas importantes de países como China, la India, Estados Unidos y Australia.

Con el cambio climático se espera que los regímenes de lluvias y sequía se modifiquen y tiendan hacia situaciones extremas. Al incrementar el grado de humedad de la atmósfera y las características de los vientos, muy probablemente aumentará la frecuencia e intensidad de las lluvias, llegando a incrementar las características de tormentas con actividad de vientos y actividad eléctrica extrema, aumentando las condiciones para producir granizo, todo esto muy dañino para las cosechas. Al

aumentar la intensidad y frecuencia de lluvias torrenciales aumentarán las inundaciones, los deslizamientos y torrentes que causarán erosión y pérdidas a la capa vegetal de los suelos. Estos daños a los suelos los hace mas vulnerables cuando la época seca empieza, ya que si el verano es fuerte con temperaturas altas y la sequía es larga, hace mas probable los incendios de vegetación y la pérdida de la cubierta vegetal, crea las condiciones propicias para la desertificación.

Se ha observado un descenso en la producción de granos a nivel mundial. En el año 2000 la deficiencia en producción eran solo un modesto 16 millones de toneladas, en el 2001 subió a 27 millones de toneladas y en el 2002 era un record demoledor de 96 millones de toneladas. En Septiembre de 2002, el informe del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos reportó que ese año la cosecha de 1818 millones de toneladas se había quedado corta del consumo estimado de 1911 millones de toneladas en 93 millones de toneladas. Se espera que en el norte de las Grandes Praderas la producción de maiz mejore con un aumento moderado de temperatura , pero a través de la Faja del Maíz del MedioOeste la productividad bajará . En el Sudeste de Estados Unidos se espera una pérdida de un tercio en la economía agrícola si los agricultores no se preparan para el aumento en la temperatura. El algodón de beneficiará del calentamiento moderado, pero la mayoría de los cultivos para alimentos serán más frágiles y menos confiables. Conforme las fuentes de alimentos a nivel mundial se agoten el número de personas con malnutrición sera mayor, y estas personas verán comprometido su sistema immune, aumentará el número de infecciones, tendrán letargo mas pronunciado y otra serie de condiciones deshabilitantes. Cerca de 12 millones de personas murieron de malnutrición en 1990, pero esta cifra se escalará dramáticamente conforme las fuentes de alimentos se hagan progresivamente mas escasas y mas costosas. De acuerdo a un informe más del 50% de las mujeres en los países en desarrollo ya están anémicas y 3,6 billones de personas tienen deficiencia de hierro. De acuerdo a un informe del World Resources Institute, la malnutrición debilita el sistema inmune dejando a los niños desnutridos incapaces para luchar contra las enfermedades comunes como el sarampión, diarrea, infecciones respiratorias, tuberculosis, tos ferina , o malaria. En Australia ha empezado



una severa sequía que ha reducido los ingresos agrícolas a la mitad y que podría tornarse permanente en el suroeste del continente. Aparentemente el aumento en la intensidad de los vientos en la Antártica ha drenado de humedad la region de Australia.

Con el aumento en la temperatura del planeta, las plantas y los insectos son buenos sensores de los cambios. El límite norte de los bosques en las zonas boreales se espera que se translade paulatinamente, así como el límite de altitud de la vegetación en las altas montañas. Igual se debe observar con el límite del habitat de insectos, tales como los mosquitos. El bienestar de de los seres marinos es muy susceptible a la temperatura de las aguas marinas. Los arrecifes coralinos a nivel mundial han sido atacados y se encuentran en peligro. Un 58 % de los arrecifes coralinos están amenazados por la actividad humana, el calentamiento del mar, la contaminación de las aguas y el turismo irresponsable. En algunos sitios se han perdido los arrecifes hasta en un 90%, como por ejemplo en el océano Indico. Algunas especies como el erizo marino del Caribe han desaparecido totalmente, ha incrementado la aparición de algas tóxicas como la marea roja, y se han extendido las enfermedades de focas en la Antártica y el lago Baikal, así como enfermedades de los delfines y marsopas. En el Mar del Norte, la destrucción de plankton por las altas temperaturas ha hecho colapsar la cadena alimenticia de la zona.

Los cambios climáticos extremos producen gran tensión en los ecosistemas, haciéndolos vulnerables a las enfermedades y los ataques de insectos. Las plagas se benefician con el aumento en la temperatura promedio del planeta y el crecimiento desmesurado de insectos como las langostas traerán inmensos daños a los cultivos de alimentos.

*Efectos en la salud de los humanos:* Una de las consecuencias importantes del cambio climático, especialmente el aumento en la temperatura global promedio, es el efecto que tendrá en los seres vivos, incluyendo la especie humana, el incremento en la actividad de los microorganismos tales como los virus, bacterias y hongos que son capaces de atacar las plantas, los animales y los seres humanos.

Igualmente al aumentar la temperatura, aumenta la proliferación de insectos, muchos de los cuales pueden ser transportadores o vectores de muchas enfermedades. Al aumentar la temperatura, al empezar mas pronto el período de primavera, al aumentar la temperatura nocturna y hacerce mas largos los veranos, la actividad biológica va a aumentar. El otro efecto importante es la disminución en la calidad de vida, debido a la desnutrición consecuencia del fracaso en la agricultura que debilitará a las personas, principalmente los niños y ancianos, y los hará mas propensos a las infecciones y las enfermedades, tanto endémicas como nuevas.



## 4. Alternativas al Problema

Frente a un problema con las características del que se ha planteado aquí, no es fácil ofrecer alternativas que suenen razonables o que parezcan viables. Existen propuestas que han surgido de diferentes ámbitos, pero que no son universales. La clave de las soluciones posibles implican un cambio de rumbo de la humanidad que conduzca a caminos sustentables de manera que la especie humana empiece a concebir su sitio dentro del sistema planetario como parte intríntrica del sistema y no como dueño y señor de la Creación. El acercamiento a las soluciones implica cambiar la mentalidad actual y crear un Nuevo Hombre, más consciente, mas sabio, mas humilde, mas solidario, mas humano

### 4.1 Fin de la era del petróleo:

Las grandes civilizaciones de nuestro pasado histórico han tenido sus épocas de Oro, pero también su decadencia y eventual extinción. Todas cayeron cuando sus fuentes de energía se debilitaron y llegaron otras sociedades a reemplazarlas. Las sociedades modernas actuales surgen de la Revolución Industrial que han tenido como sustento energético principal a los combustibles fósiles: el carbon, el petróleo y el gas natural. Todos estos son recursos naturales no renovables y están siendo utilizados con tal furor y despilfarro que se proyecta su agotamiento en muy pocas generaciones. Si estas fuentes de energía no son sustituidas por otras mas sustentables y confiables, el futuro de la actual civilización seguro que seguirá el derrotero de las civilizaciones anteriores. Es conveniente analizar cual pudiera ser el futuro próximo del petróleo, sobre el que descansa sustancialmente el peso de proveer la energía que moviliza a la sociedad actual.

Durante el principio de los años 1970, los países industrializados sintieron los efectos de una escasez temporal de petróleo a raíz del embargo petrolero de la OPEC, como protesta por las injusticias realizadas a otros países musulmanes. Las largas colas para conseguir gasolina y los altos precios del combustible fueron un indicio de lo que podría

venir. Terminó el embargo y la producción se reanudó y los precios del barril de petróleo volvieron a sus niveles absurdamente bajos, manipulados por los intereses capitalistas y los países consumidores de energía. Rápidamente la gente se olvidó del problema y se acomodó al festín del consumo energético con la creencia que las fuentes de energía son inagotables. Ya nadie habla de conservar energía: tal ha sido la eficacia de la propaganda de las empresas que tienen el monopolio de la producción y distribución de la energía que a la población se le ha lavado el cerebro y vivimos en este mundo ficticio de despilfarro y de gozar el presente sin importar lo que le heredemos a las futuras generaciones.

Cuanto tiempo puede durar el petróleo depende de la relación entre las “reservas” comprobadas de este material y el consumo que realiza la sociedad global. Una sociedad altamente consumidora de combustible como la de Estados Unidos utiliza 20 millones de barriles diarios de petróleo. La pregunta clave es si podemos continuar con este consumo y todavía disponer de suficiente producción de este recurso natural? Los geólogos clasifican la producción de petróleo como “petróleo convencional” (o “petróleo liviano”), aquel que tiene una viscosidad relativamente baja y fluye por la presión natural que tiene en el subsuelo. La tecnología actual ha mejorado la capacidad de recuperación del material útil de los pozos petroleros y se habla de recuperación primaria, secundaria o terciaria, a las estrategias utilizadas para esa recuperación, siendo cada vez mas costoso energéticamente el mayor grado de recuperación. El otro petróleo es “no convencional” y se refiere a petróleo que normalmente no está accessible por métodos convencionales y que requiere de una alta inversión energética y económica para extraerlo. En esta categoría están los petróleos pesados, las areniscas y rocas sedimentarias o pizarras impregnadas de petróleo, los yacimientos en las profundidades marinas o regiones polares.

Existen depósitos naturales de este tipo en grandes reservorios en Canadá (zona de Atabasca) y Venezuela (Faja Petrolífera del Orinoco), pero su comercialización es todavía poco viable. El origen del petróleo se ubica varios millones de años en el pasado y se deriva de plantas, algas y animales pequeños que habitaban mares poco profundos en eras geológicas. La sedimentación y eventual sometimiento a altas



temperaturas y presiones en la corteza terrestre condujo a la transformación en carbon, petróleo o gas natural, dependiendo de las condiciones presentes. Mucho del material original debe haberse formado en zonas tropicales hace millones de años y los depósitos luego migraron hacia el norte por el movimiento de placas tectónicas dando los actuales depósitos del Medio Oriente, del Mar del Norte y de Siberia. Los depósitos de petróleo de Estados Unidos y Canadá pueden remontarse a la era Permiana (hace 230 millones de años) y los depósitos de Venezuela a la era Cretácea (hace 90 millones de años). La creación de petróleo en la actualidad es poco probable por las condiciones de material biológico disponible y el tiempo que requiere su genesis.

Los geólogos coinciden que se han extraído del orden de 875 billones de barriles de petróleo (Gbo), la gran mayoría en los 140 años desde la Revolución Industrial. Donde no hay todavía acuerdo universal es en cuanto todavía queda en las reservas mundiales de petróleo convencional. Existe confusión sobre la definición de “reserva” (cantidad de petróleo en los campos petroleros que se puede producir con las tecnologías existentes, en un tiempo razonable y a un costo comercial razonable) y “Recurso” (estimado teórico de la cantidad de petróleo que puede existir en una región, incluyendo aquel que no se puede extraer con la tecnología actual o a un costo prohibitivo para el mercado actual ) Se complica el panorama cuando se introducen variantes que califican las “reservas” como “activas”, “inactivas”, “probables”, “posibles”, “inferidas”, “identificadas” y “no-descubiertas”. Las cantidades a considerar son: la producción acumulativa o cuanto petróleo convencional se ha producido hasta la fecha, las reservas globales estimadas y la proyección de cuanto petróleo recuperable hay todavía por descubrir. Estos tres factores sumados constituyen el total de reserva de petróleo ultimamente recuperable (EUR).

El petróleo se encuentra en depósitos bajo tierra o en aguas poco profundas fuera de costa en las plataformas continentales. Estos depósitos son alrededor de 600 y se sospecha que hay muy pocos aun por descubrir. Cuatrocientos de estos depósitos están siendo explotados, los otros 200 están ubicados en áreas remotas como Groenlandia o en aguas profundas frente a las costas de Brasil, Africa Occidental y el Golfo de México que los hace difíciles y costoso explorar. En 125 de los depósitos se

han encontrado cantidades significativas de petróleo. En los Estados Unidos (sin contar Alaska) se estima que tiene aproximadamente 195 billones de barriles de petróleo de reservas ultimamente recuperables; de éstos se han consumido 169 billones de barriles, lo que indica que la reserva es de sólo 20 billones de barriles y la posibilidad de encontrar 6 billones de barriles mas. En comparación, Arabia Saudita posee 300 billones de barriles de reserva ultimamente recuperables, ha producido 91 billones de barriles, le quedan en reserva 194 billones de barriles y se podrían encontrar 14 billones de barriles adicionales. Rusia posee aproximadamente 200 billones de barriles de reserva ultimamente recuperables, ya ha producido 121 billones, dejando 66 billones de barriles en reserva con 13 billones de barriles todavía por encontrar. Así, a los Estados Unidos le quedan 14% de petróleo por utilizar, a Rusia le quedan 39% de su petróleo y a Arabia Saudita le quedan 70% de su petróleo bajo tierra.

Según el US Geological Survey (USGS) existen 3003 billones de barriles de reserva de petróleo ultimamente recuperable (EUR) a nivel mundial. Pero esta cifra está probablemente inflada por la manera como se reportan las reservas de petróleo de los países por razones políticas y los porcentajes de probabilidad que los geólogos asignan a las cifras de reservas. Además los valores reportados han venido aumentando o se mantienen año tras año a pesar de la producción continua de los pozos. Casi todos los aumentos vienen de los países de la OPEC. Arabia Saudita cuyas reservas de petróleo estaban entre 163 billones y 170 billones de barriles por muchos años, aumentó subitamente a 257,5 billones de barriles en 1990. Kuwait saltó de 63,9 billones de barriles a 90 billones entre 1984 y 1985. Las reservas de Iraq se duplicaron de 47,1 billones de barriles a 100 billones entre 1987 y 1988 e Irán cambió de 48,8 billones a 92,9 billones en 1987. En 1997, 59 países productores de petróleo reportaron que sus reservas no habían cambiado y para 1999, setenta países productores reportaron no tener cambios en sus reservas de crudo.

Después del embargo de 1970, las compañías de petróleo empezaron una búsqueda de nuevos pozos. En Estados Unidos solamente, el número de pozos exploratorios y de desarrollo aumentó de 28000 a 90000 entre 1973 y 1981, pero este esfuerzo no



condujo a aumentar las reservas, en realidad, se redujeron de 25 billones en 1973 a 20 billones de barriles en 1986, y la producción se disminuyó en 24%. Hoy día hay 1500 campos petroleros grandes o gigantes, que contienen el 94% del petróleo crudo conocido. Los 400 campos mas grandes contienen entre 60 y 70% del total. Solamente 41 de estos campos se han encontrado a partir de 1980. Estas son noticias preocupantes si consideramos que la demanda mundial de petróleo es de 24 billones de barriles al año y aumentando, pero estamos encontrando menos de 12 billones de barriles de petróleo recuperable en nuevos campos cada año. O sea, estamos consumiendo dos barriles de crudo convencional por cada barril nuevo descubierto. La mayoría del petróleo nuevo durante los años 1980 y 1990 vino del Mar del Norte, cuya producción llegó a su pico en 2002 con 6,77 millones de barriles. El Mar Caspio es otro campo que auguraba muchas esperanzas, pero contiene 50 Gbo de reservas recuperables y alcanzará su producción pico en 2010. La esperanza que había con las reservas de Alaska no han solucionado el problema de dependencia de importaciones de petróleo para los Estados Unidos, que importa mas del 65% de sus demandas energéticas. La propuesta de añadir explotaciones del Refugio Silvestre Nacional Artico (ANWR) cuya reserva se estima de 3 billones de barriles de petróleo recuperable, que solo alcanzaría para 153 días de uso. El estimado del Departamento de Energía de EE.UU. que la región ANWR podría estar produciendo 1,4 millones de barriles por día para el año 2020, solo representaría cerca del 1% de la producción mundial de entonces que se espera entre 112 y 120 millones de barriles por día. Indudablemente que la destrucción del refugio silvestre por la explotación petrolera es un precio muy alto a pagar por tan pequeña cantidad de crudo.

Con la población mundial que se espera que aumente de 6,2 billones a 7,5 billones de personas para el 2020, la presión sobre las reservas de petróleo mundial se va a incrementar notablemente. Países como la China que está mejorando su nivel económico, si aspirara a consumir tanto petróleo per cápita como Estados Unidos, necesitaría consumir 81 millones de barriles por día, o sea 10 millones de barriles mas que la producción mundial para 1997. Si la China y la India fueran a incrementar su consumo per cápita al mismo nivel de Corea del Sur, los dos países necesitarían 119

millones de barriles por día, o sea mas del 50% que la producción mundial en el 2000. Debido a la demanda interna, la China es el principal importador mundial de crudo en el 2004. Se espera que la demanda de petróleo de los países en desarrollo entre el 2000 y 2010 sea mayor a la consumida por Europa Occidental hoy día. Según la Administración de Información sobre Energía (EIA) del Departamento de Energía de Estados Unidos, la demanda mundial de petróleo para el 2020 aumentará de 80 millones de barriles diarios a 120 millones de barriles diarios, o sea un aumento de 50% en menos de 20 años. Encontrar y producir 40 millones de barriles adicionales por día de petróleo barato va a ser una tarea difícil.

El World Resources Institute reporta que la mayoría de los expertos petroleros consideran que las reservas de petróleo ultimamente recuperables (EUR) a nivel mundial están entre 1800 y 2200 billones de barriles. El mundo ya ha consumido mas de 875 billones de barriles, o sea cerca de la mitad de la reserva. La propuesta del USGS de 3000 billones de barriles es una proyección optimista que incorpora reservas potencialmente grandes e inexploradas en la antigua Unión Soviética, el Medio Oriente, los deltas del Níger y Congo en Africa y el noreste de Groenlandia, proyecciones que no han demostrado ser factibles.

La relación entre la oferta y la demanda de crudo, el descubrimiento de nuevas reservas y nuevos yacimientos y el año en que se espera que la relación oferta-demanda alcance su pico máximo, son consideraciones importantes en la geopolítica de la producción petrolera. El modelo utilizado para hacer estas predicciones se llama la Curva de Campana de Hubbert. El geofísico M. King Hubbert en 1956 predijo que el pico y la baja en producción de crudo en Estados Unidos (sin Alaska) ocurriría entre 1965 y 1970. Su predicción resultó ser verdad, pues en 1970 se alcanzó el pico y empezó la caída constante en producción, que solo se movió a 1972 cuando se descubrió petróleo en Alaska.

Los Estados Unidos perdió su preeminencia como el principal productor de petróleo mundial y ese cambio ha dictado mucha de la geopolítica mundial, incluyendo acciones desesperadas recientes como la invasión de Iraq. La tesis de Hubbert es sencilla: la



producción de crudo empieza en cero, empieza a aumentar con la demanda, crece rápidamente, llega a su pico máximo cuando se ha producido la mitad del estimado de petróleo ultimamente recuperable (EUR) y empieza a caer al menos tan rápido como subió, ya que la demanda de crudo continúa o aumenta. La exploración y explotación actual ya no ofrece grandes campos petroleros, y es cada día mas difícil encontrar pozos productivos y es mas costoso taladrar, producir y bombear el crudo a la superficie. Hubbert estimó en 1971 que el 80% de la producción mundial se alcanzaría en 58 a 64 años, o sea en menos de una generación. Mas recientemente los geólogos Campbell y Laherrère han realizado un análisis que cubre 18000 campos petrolíferos a nivel mundial , dando unas reservas de 850 billones de barriles de petróleo convencional (reservas a 1996 con 50% de probabilidad de poder extraer el petróleo durante la vida útil del pozo con la tecnología y precios actuales,  $P^{50}$ ) . Otros reportes ofrecen otros estimados: 1019 Gbo (Oil and Gas Journal); 1160 Gbo (World Oil). Si se estima que se descubran 150 billones de barriles adicionales , daría un total recuperable de 1000 billones de petróleo convencional. Esto representa un poco mas de los 875 billones de barriles que ya se han extraido del subsuelo. Los países productores de No-OPEC llegarán a su pico antes del 2010, y los cinco mayores productores de la OPEC del Medio Oriente- Arabia Saudita, Kuwait, Iraq, Iran y Abu Dhabi- alcanzarán su pico alrededor de 2015. El geólogo L.F. Ivanhoe predice que el suministro de petróleo empezará a fallar en copar con la demanda cerca del 2010 y el abastecimiento disminuirá rapidamente cerca de 3% por año de allí en adelante. El precio del petróleo y sus derivados tendrá un gran pico y producirá una hiperinflación. Un desabastecimiento de solo un 5% producirá las largas líneas en las estaciones de gasolina, pero esta vez serán permanentes. El geólogo Craig Hatfield de la Universidad de Toledo, usando un estimado de 1550 Gbo en reservas (55% mas alto que lo propuesto por Campbell y Laherrère). Hatfield empieza con 1000 Gbo reportado como reservas de petróleo y propone que se pueden descubrir 550 Bob de petróleo recuperable. Si se le añaden los 800 Gbo que ya se han producido se obtienen 2350 Gbo como la cantidad de petróleo ultimadamente recuperable. Como la demanda de petróleo continúa creciendo en un 2% , se habrá consumido la mitad del petróleo antes del 2010; Esta fecha podría extenderse algunos años si los países de la OPEC

restringen la producción de crudo para mantener los precios altos en el mercado mundial. James J. MacKenzie asumiendo un estimado de 2600 Gbo de petróleo ultimadamente recuperable, extenderá el pico máximo al 2019. Kenneth S. Deffeyes de la Universidad de Princeton, propone que el pico máximo en la producción mundial puede ocurrir tan temprano como el 2003 o tan tarde como el 2009, basando su cálculo en 2,1 trillones de barriles de reservas de petróleo recuperable, pero este máximo aparecerá tan rápido que no habrá tiempo de efectuar el reemplazo por otras fuentes de energía, creando una verdadera guerra por obtener el petróleo que queda en las reservas. La Agencia Internacional de Energía de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development, que agrupa los 8 países mas economicamente poderosos) estima que la demanda de energía puede crecer tanto como un 57% entre ahora y el 2020 y la producción de petróleo convencional alcanzará su pico entre 2010 y 2020.

Entonces los expertos se dividen en dos bandos: los mas optimistas que consideran que la producción alcanzará su pico en 28 a 38 años y los mas pesimistas que consideran que el pico máximo ocurrirá mucho mas pronto , de 8 a 18 años, pero ambos coinciden que la época del crudo abundante y barato pronto llegará a su fin. Los optimistas argumentan que ocurrirán buenos descubrimientos de pozos gigantes, como los encontrados fuera de la costa en Africa Occidental y otros similares en Kazakhstan y en Irán. El USGS propone que habrán descubrimientos importantes (100 Gb) en la antigua Unión Soviética, en el Medio Oriente , en el Atlántico, Sud Africa y Sur América. Pero otros expertos consideran que las cifras del USGS están abultadas, si consideramos que la industria petrolera ya ha encontrado un 90% del petróleo mundial existente. Con los avances en la tecnología, la recuperación del petróleo en pozos que han perdido la presión ha mejorado pero se logra recuperar como un 15%. En los años 1960 solamente el 30% del crudo en los pozos era recuperable. Actualmente es entre el 40 y 50% y en algunos años puede ser del orden del 70%. Si está claro que el crecimiento poblacional y la demanda de energía es tan grande que se encuentra en un curso de colisión con las reservas mundiales de petróleo, de manera que permita hacer una transición ordenada a otras fuentes alternas de energía.



Donde se encuentran ubicadas las últimas reservas de petróleo a nivel mundial? Todos los expertos coinciden que las reservas de crudo convencional se encuentran ubicadas mayormente en el Oriente Medio y que los países industrializados serán cada día mas dependientes del Golfo Pérsico para suplir sus necesidades de petróleo. Los Estados Unidos que fueron los principales proveedores de petróleo a nivel mundial en el pasado ahora tienen que importar mas del 60% de sus requerimientos energéticos, principalmente desde Canadá y de Rusia. Los Estados Unidos con el 5% de la población mundial consume el 26% del petróleo mundial, su producción interna es sólo el 11% de la producción mundial y posee solo el 2% de las reservas mundiales. Esta posición los hace muy vulnerables y dependientes, haciendo que su comportamiento internacional los induzca a ser cada día mas temerarios y utilizar su poderío militar para tratar de conseguir privilegios en los países con reservas, caso típico de Irak, que fuera invadida con la estratagema de buscar armas de destrucción masiva (de las cuáles ellos son los principales productores y tienen los arsenales mas gigantescos) que nunca existieron. Rusia con los descubrimientos de reservas recientes y los oleoductos al mar Báltico y Mar Negro, tuvo una producción de 7 millones de barriles diarios en el 2002, y temporalmente se convirtió en el principal productor mundial. Esta producción le interesa al estado ruso, pues US\$4 dólares de cada US\$10 dólares vienen de las exportaciones de energía.

Coincidentalmente, de las grandes reservas de gas natural en Asia Central, se propone un oleoducto a través de Afganistan para sacar ese material a los mercados mundiales, razón por la cual ese país es de repente muy importante para el juego de ajedrez energético mundial. La posición de Rusia en el mercado internacional puede que no dure mucho, ya que sus reservas han venido declinando. Las reservas de la USSR se estimaban en 83 billones de barriles en 1975; para mediados de la década de 1990 los países de la antigua Unión Soviética poseen menos de 57 billones de barriles de reservas. Aun tomando en cuenta las posibles cifras infladas de los países productores del Medio Oriente, les corresponde dos tercios de las reservas mundiales, y Arabia Saudita solamente tiene el 26% de las reservas de crudo convencional. Hay mas

de 40000 campos petrolíferos conocidos a nivel mundial, pero solamente 40 son supergigantes (que contienen mas de 5 billones de barriles de crudo) y contienen mas de la mitad de las reservas mundiales; 26 de esos 40 campos petrolíferos están en el Golfo Pérsico. Mientras que los pozos gigantes, especialmente de Estados Unidos y Rusia, ya llegaron a su pico y están declinando, los pozos del Medio Oriente están todavía ascendiendo en la curva de Hubbert. La relación reserva a producción (R/P) nos da una indicación del número de años que la reserva puede durar a la velocidad de producción actual. En Estados Unidos, donde mas del 60% del crudo recuperable ya ha sido producido, el valor de R/P es 10/1. En Noruega es 10/1; en Canadá es 8/1. En contraste para los países del Golfo Pérsico: Irán tiene un R/P de 53/1; Arabia Saudita 55/1; Emiratos Arabes Unidos 75/1; Kuwait 116/1 e Irak 526/1.

Estos países van a comandar la producción mundial en la próxima década, aproximadamente un tercio de la producción. Diez años mas tarde , cerca del 2015, estos países llegarán a su pico de producción, lo que mandará el precio del petróleo por las nubes. El mundo Musulmán tendrá la última palabra sobre el petróleo. Para copar con la demanda mundial de combustible en la próxima década, los países del Medio Oriente tendrán que aumentar su producción de 27 millones de barriles diarios a 48 millones de barriles diarios entre ahora y el 2010, pero los planes de expansión de la producción estará deficiente en 10 millones de barriles diarios, que afectará notablemente los precios del petróleo. Estos planes de expansión costarán en exceso de US\$100 billones de dólares, mas US\$ 20 billones para mejorar las refinerías del Golfo Pérsico para responder a la demanda; cualquier aumento por encima de los planes de expansión serán aun mas costosos.

El desarrollo de la industria del petróleo fue rápido y contundente; empezó en 1859 y hoy día domina la producción de energía a nivel mundial con un negocio que oscila entre US\$2 trillones y US\$5 trillones de dólares. El imperio del petróleo es altamente complejo e interconectado a nivel mundial, es el principal motor para movilizar la economía mundial y está en manos de pocas empresas gigantescas que practicamente dominan nuestro futuro. Muchas empresas son privadas, pero su poderío les permite



manipular los gobiernos a su antojo, aun de los países mas poderosos, Tres de las siete empresas mas grandes del mundo son compañías de energía.

La Exxon- Mobil de Estados Unidos (número 2 en los Fortune 500) tiene entradas de US\$213 billones de dólares. A través de asociaciones y fusiones las empresas actuales son mega-empresas, tales como BP (British Petroleum), Amoco y ARCO; Exxon y Mobil; Total y Elf; Chevron y Texaco; Royal Dutch-Shell. Estas empresas controlan el 32% del mercado mundial y el 19% de la capacidad de refinación. Estas empresas están ahora tan gigantescas como las empresas estatales como Saudi Aramco, Petróleos de Venezuela (PDVSA), NIOC de Irán y Pemex de México. Estas empresas del estado controlan el 25% de la producción y poseen el 42% de las reservas. Estas empresas privadas y estatales, 10 a 12 empresas gigantescas, dominan la energía mundial. En Estados Unidos cinco empresas (Exxon-Mobil, Chevron-Texaco, BP-Amoco-ARCO, Phillips-Tosco y Marathon) controlan el 41% de la exploración y producción doméstica, 47% de la refinación doméstica y 61% del mercadeo al por menor doméstico. Sus ganancias después de impuestos subió de US\$16 billones en 1999 a US\$40 billones en el 2000 (aumento de 146% en 12 meses

Los países productores de petróleo de la OPEC tendrán el control de la producción mundial en un futuro cercano. De los trece países de la OPEC, diez son estados Musulmanes: Arabia Saudita, Emiratos Arabes Unidos, Qatar, Irán, Irak, Kuwait, Argelia, Libya, Indonesia y Nigeria. Otros productores importantes como Omán , Bahrain, Siria, Egipto, Brunei, Tunisia y Malasia también son Musulmanes. Actualmente hay 1,2 billones de Musulmanes en el mundo, correspondiente al 20% de la población y es el grupo de mayor crecimiento mundial. Para el 2025 uno de cada cuatro personas en el mundo serán Musulmanas. La esperanza de mejorar su estándar de vida de la población de estos países se centra en el petróleo y su geopolítica será determinante en los próximos 25 años.

La juventud radical Musulmana aspira poder capitalizar en este poderío y no dejarse dominar por los intereses extranjeros y de las grandes compañías petroleras que han

dejado a las poblaciones de estos países con ingresos muy por debajo del promedio mundial. El ingreso per cápita de la Franja Islámica, desde Marruecos a Bangladesh es menos de US\$3700 anuales, comparado con US\$7350 que es el promedio mundial. Los Musulmanes aspiran poder volver a tener la importancia y prominencia que un día tuvieron en el pasado histórico. Los otros países necesitarán negociar con los países árabes para la seguridad y paz mundial.

Tan pronto empiece a escasear el petróleo se habla de sustituirlo por otros combustibles fósiles como el gas natural o los combustibles no convencionales como los crudos pesados o las areniscas y rocas sedimentarias impregnadas de petróleo. Vale la pena analizar los alcances de esas posibles sustituciones y realmente cuanto tiempo nos puede comprar. Queda latente el verdadero problema que es el calentamiento global producido por la emisión de cada vez mayores cantidades de dióxido de carbono y la contaminación global al consumir fuentes fósiles cada vez mas sucias, principalmente con azufre, nitrógeno y metales pesados, y cada vez menos eficientes en producción de energía útil. El gas natural frecuentemente se encuentra asociado a las mismas fuentes de petróleo y carbón. Las reservas mundiales mas importantes de gas natural – que puede alcanzar el 40% de las reservas totales- se encuentran en el Medio Oriente, que como vimos es la región mas volátil e inestable políticamente del mundo.

El gas natural se utiliza principalmente para consumo doméstico y para el calentamiento de los ambientes. Se empieza a utilizar en mayor cantidad para producir electricidad en plantas termoeléctricas y como combustible en sistemas de transporte. El Estados Unidos, el 14% del consumo de gas natural es para producir electricidad.

Pero esta cifra va a aumentar dramáticamente en la década próxima, ya que se están construyendo 272 plantas eléctricas con turbinas de gas, y el plan energético nacional planea construir 1500 mas en un futuro cercano. Esto hará que practicamente toda la red eléctrica sea virtualmente dependiente del gas natural. Esta decisión definitivamente no es la respuesta sustentable para esa sociedad.



El Departamento de la Energía de Estados Unidos proyecta que el consumo de gas natural desde su producción en 1999 de 21,4 trillones de pies cúbicos a entre 32.2 trillones y 36,1 trillones de pies cúbicos en el 2020. Un 57% de ese incremento es para la generación de electricidad y el resto para la demanda de los sectores residencial, comercial, industrial y de transporte. La producción de gas natural en Estados Unidos alcanzó su pico en 1971 con 22 trillones de pies cúbicos (Tcf), un año después del pico en la producción del petróleo, De 1971 a 1999 la producción declinó en 0,5% por año, habrá un pico secundario en 2007 en 20,7 Tcf, con una disminución de 1,5% anual hasta el 2040. Como la demanda se espera que aumente en 62% entre ahora y el 2020, se explica porqué el aumento en las importaciones desde Canadá, México y Venezuela. Las reservas de Canadá llegarán a su pico en el 2005 y luego decaerán al 4,3% anual en los próximos 25 años; la producción de México alcanzará su pico en el 2011 en 1,5 Tcf y luego decaerá a 2,7% anual en los próximos 29 años. En Venezuela las reservas parecen ser grandes y el pico dependerá de la producción, pero seguro que será en los próximos 10 a 15 años.

En este momento está siendo explotada por consorcios mixtos y el principal comprador son los Estados Unidos. El transporte del gas natural por gasoductos, como los que hay desde Canadá y se está construyendo desde México, es costoso, pero el transporte como gas licuado en tanqueros, como es desde Venezuela, es aun mas costoso. El pico de producción mundial de gas natural será tan temprano como el 2020. La dependencia del gas natural del Oriente Medio y de Rusia será cada vez mas fuerte. Irán tiene el 16% de la reserva mundial, Qatar y los Emiratos Arabes Unidos tienen el 10% . Estos países jugarán papeles importantes en la geopolítica energética mundial en el futuro cercano.

El otro recurso probable, el carbón y los petróleos no convencionales, podrán mantener a flote la gran demanda mundial de energía? Esta demanda se duplicará entre el 2100, debido principalmente al aumento poblacional. Si la transición se efectúa en el 2015 como parece probable y no para el 2050 como se proyectaba anteriormente, el efecto debido al aumento en emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases nocivos puede ser

potencialmente devastador para el clima del planeta. Estados Unidos tiene la reserva de carbón mas grande del mundo, y también hay reservas importantes en la antigua Unión Soviética, la China, India, Alemania, Australia y Sud Africa, cada uno con reservas entre 6% y 12% de la reserva global. Actualmente en Estados Unidos 23% de las necesidades de energía vienen del carbón y 55% de la producción de electricidad depende del carbón. Se estima que la reserva podría durar 300 años, pero no toma en cuenta el aumento en demanda y la disponibilidad de las minas de carbón. Si la demanda aumenta en 4% anual, las reservas solo durarán 64 años. A la China e India les corresponderá el 92% del incremento del uso del carbón entre ahora y el 2020. Se habla mucho sobre el proceso de extraer combustible líquido del carbón, pero de una tonelada de carbón solo se sacan 5,5 barriles de combustible líquido. Para reemplazar solo el 10% del consumo mundial de combustible líquido en 1996, se requeriría la mitad de todo el carbón producido durante 10 años. Referente a los petróleos no convencionales, los geólogos estiman que se pueden recuperar 300 millones de barriles de las arenas de Atabasca en el norte de Alberta en Canadá. En Venezuela se estiman 300 billones de barriles de petróleo extra pesado. Las reservas de Canadá y Venezuela combinadas serían el doble de las reservas de crudos convencionales de Arabia Saudita o equivalente a las reservas de petróleo convencional del Medio Oriente. Se han detectado grandes depósitos de arenas impregnadas de aceite en Estonia, Australia, Brazil, China. Según las Naciones Unidas (UNITAR) se estima que los depósitos totales podrían equivaler a un tercio petróleos no convencionales ha sido lento por su alta viscosidad, altos niveles de azufre, metales pesados (como vanadio y níquel), y nitrógeno que lo hace muy costoso extraer, transportar y refinar. Los crudos pesados corresponden actualmente al 3,5% de la producción mundial de petróleo. Tanto Canadá como Venezuela están invirtiendo altas sumas en exploración y producción de crudos pesados. Venezuela estima que la producción de crudos pesados puede ser de 40% de su producción total de petróleo para el 2010, y en Canadá puede ser del 75% de la producción doméstica para finales de la década. Venezuela y Canadá esperan estar produciendo 1 millón de bariles diarios de este combustible para el 2010. Syncrude de Canadá ya produce el 13% de los requerimientos de energía del Canadá y otras empresas están montando otras instalaciones en el noroeste de Canadá. Sin



embargo conviene destacar que se requieren dos toneladas de arenas o roca impregnada de aceite para producir un barril de petróleo. Toneladas de material tiene que sacarse de las minas, moler a partículas pequeñas y luego extraer con vapor de agua, solventes o procesos térmicos, todos muy costosos energéticamente y con cantidades enormes de desechos sólidos todavía muy contaminantes. Las empresas Suncor y Syncrude de Canadá se estima que tendrán que copar con un billón de residuos sólidos contaminantes para el año 2020. La empresa Syncrude Canadá emite 240 toneladas de azufre diario, 25 veces más que en una refinería convencional en Texas. La minería y el procesamiento de las arenas impregnadas de aceite requieren enormes cantidades de agua, compitiendo por el agua con la agricultura, uso residencial o comercial. Como el agua tiene que ser calentada, requiere un gasto energético importante. Se calcula que en Alberta el 25% del gas producido se utiliza para calentar el agua para derretir el bitumen de las arenas.

La producción de petróleo sintético de las rocas y areniscas impregnadas emite 39% más  $\text{CO}_2$  que producir crudo convencional y producir petróleo sintético del carbón produce 72% más  $\text{CO}_2$  que producir crudo convencional. El petróleo extraído tiene que refinarse para combustible apropiado, como el fuel oil. La empresa Syncrude Canadá gasta US\$12 por cada barril que produce (comparado con US\$1 por barril de crudo liviano en Arabia Saudita) y solo puede hacer una ganancia si el precio mundial del barril es de US\$21. Los analistas consideran que para hacer viable esta fuente se requiere al menos de un precio de US\$25, y para llevarlo a combustible líquido si el precio del petróleo es de US\$45. Actualmente (Oct. 2004) los precios del barril de petróleo en el mercado mundial han estado tan alto como US\$54 por barril, pero se argumenta que varios factores circunstanciales como: la guerra en Irak, el huracán Frances e Ivan en el Golfo de México, el lío de las petroleras rusas con el gobierno, la huelga petrolera en Nigeria, etc., pueden estar haciendo que el valor suba. De continuar esta alza, los crudos no convencionales empiezan a hacerse competitivos.

La empresa Chevron estima que para mediados del siglo XXI los crudos pesados el bitumen pueden representar más de la mitad de las fuentes de energía mundial. La

esperanza es que para entonces se haya podido avanzar en el desarrollo e implementación de las fuentes alternas de energía para bien del planeta y la seguridad y paz de la humanidad.

#### **4.2 Fuentes alternas de energía**

Ya existe hoy día un movimiento mundial para empezar o ampliar la búsqueda de fuentes alternas de energía que reemplace la alta dependencia de la actual sociedad a los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. Por ejemplo, los habitantes de la provincia Prachuap Khiri Kan en Tailandia protestaron la propuesta para construir dos grandes termoeléctricas en la región y la Legislatura en California aprobó una ley en Septiembre 2002 que exige la generación del 20% de la electricidad del Estado con fuentes de energía renovable para el 2017. Entre los últimos de los años 1990 y el 2020 el consumo global de energía se espera que aumente cerca de 60% debido al crecimiento poblacional, continua urbanización, y expansión económica e industrial. Consumo de electricidad, que es la forma mas versátil de la energía, aumentará aun mas rápidamente: cerca del 70%. El mayor aumento se espera en los países en desarrollo, donde cerca de 2 billones de personas no tienen acceso a las formas modernas de energía tales como la electricidad y el gas por tubería. Además, la mayoría de la energía adicional se proyecta sacar de los combustibles fósiles no renovables y tecnologías actuales, aumentando los daños al medio ambiente, a la salud pública y el bienestar humano y poniendo en peligro la estabilidad internacional.

Las tecnologías de energías renovables tienen el potencial para copar con la demanda mundial de energía en muchas veces y ya están listas para utilizar en gran escala. Energía eólica y solar son las fuentes alternas de mas alto crecimiento. Las “nuevas renovables” (incluyendo las hidroeléctricas en gran escala y las de biomasa tradicional) producen mas de 100 000 megavatios (MW) de electricidad conectada en red y proveen el equivalente de necesidades residenciales de mas de 300 millones de personas. La International Energy Agency en 1999 declaró que “el mundo está en los períodos iniciales de una transición inevitable hacia un sistema de energía sustentable que dependerá principalmente de fuentes renovables”.



El mundo utiliza hoy día diez veces mas energía que hace una década y el consumo de energía solar ha aumentado siete veces. Muchos países han aprobado legislación fuerte apoyando energía renovable y abriendo mercados a estas tecnologías. Sin embargo hay fuertes fuerzas, incluyendo industrias políticamente poderosas, que desean mantener el status quo. Estas fuerzas a favor y en contra del cambio se enfrentaron en la Reunión Mundial del Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas en Johannesburgo en el verano del 2002. Mientras que la Unión Europea y Brasil proponían la adopción de metas para el uso de energías renovables, la fuerte oposición de la industria de los combustibles fósiles, las naciones productoras de petróleo y los grandes consumidores de combustible como la China y Estados Unidos, no permitió que se tomaran medidas apropiadas para el futuro.

El mundo está claramente dividido sobre el tipo de energía a utilizar en el futuro, y ya muchos países ven el cambio a fuentes renovables como la alternativa a los combustibles fósiles. La resistencia al cambio es inevitable, pero el mundo no puede soportar retener el cambio indefinidamente por aquellos que están casados a las fuentes de energía del pasado. Cada año se agregan plantas termoeléctricas, refinerías, oleoductos y otra infraestructura convencional al sistema mundial de energía para reemplazar el sistema actual deteriorado y responder a la demanda, principalmente de los países en desarrollo.

Se invierten entre US\$200 -250 billones en esa infraestructura cada año y otros US\$1,5 trillones en consumo energético, con casi la totalidad invertido en energía convencional. Como resultado, la sociedad se está encerrando mas profundamente en una dependencia indefinida en una estructura de energía insostenible, insegura e insalubre. A esto se agrega los altísimos subsidios que los gobiernos de los países desarrollados ofrecen a la energía convencional y el increíble poder político que las grandes empresas de la energía tienen en esos países. Todos estamos a la merced del poderío y la avaricia insaciable de esas empresas, solo basta recordar los escándalos de empresas como Enron y Halliburton. Existe la esperanza y la oportunidad de buscar

una ruta mas sustentable: una que pueda responder al incremento en la demanda de energía sin sacrificar las necesidades y el bienestar de las futuras generaciones y el medio ambiente.

Las fuentes renovables solo ofrecen una pequeña parte de la energía consumida a nivel mundial (Figura 4.1) y de la producción de electricidad (Figura 4.2). Sin embargo las fuentes renovables ofrecen muchas ventajas y beneficios. Muchos países han empezado a transitar el camino hacia energía sustentable en respuesta al aumento en la demanda de energía, aumento en la preocupación sobre las fuentes de combustible fósil y la seguridad global, el inminente peligro del cambio climático y sus consecuencias, la crisis medio ambiental y los recientes y significativos avances en la tecnología de fuentes renovables.

La producción de petróleo global debe llegar a su pico en las primeras décadas del siglo XXI, o sea que en 20 a 25 años las reservas de hidrocarburos líquidos empezarán a disminuir, lo que nos da una ventana en el tiempo para hacer la conversión a energías renovables. Pero tampoco podemos utilizar todas las reservas de combustibles fósiles por el efecto que tendría la producción de CO<sub>2</sub> en el clima global. La recomendación del IPCC es que habría que reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 70% en los próximos 100 años para estabilizar la concentración de CO<sub>2</sub> en 450 ppm, un nivel 60% que los niveles preindustriales que cambiarían el clima sustancialmente.

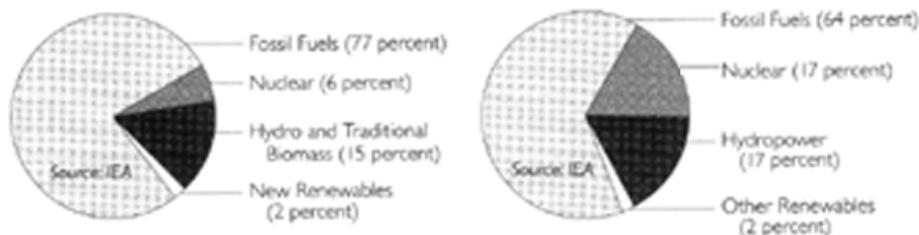


Fig 4.1 Consumo de Energía Mundial, 2000

Fig. 4.2 Generación de electricidad, 2000

(Los niveles de CO<sub>2</sub> son actualmente de 379 ppm) Debido que mas del 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de la quema de combustible fósil, las reducciones propuestas solo se pueden lograr haciendo el cambio lo mas rápido posible a las



fuentes alternas de energía. Para estabilizar las emisiones es necesario llevarlas a niveles por debajo de los valores de 1990 en la década próxima. Entre 1990 y el 2100 se esperan aumentos en la temperatura entre 1,4 y 5,8 °C y los cambios dentro de los continentes serán mayores que el promedio, igualmente el aumento del nivel de los mares continuará por siglos. Según el Protocolo de Kyoto, los países industrializados deben reducir en promedio un 5,2% por debajo del su nivel en 1990 para el final del período 2008-2012. El protocolo entrará en vigencia 90 días después de ratificación por 55 países que contribuyan al menos 55% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 1990 de los países industrializados. Para mediados del 2002, 96 países han ratificado el Protocolo, incluyendo la Unión Europea y Japón (37.4% de las emisiones). Rusia (17.4% de las emisiones) y Polonia (3% de las emisiones) prometieron ratificar. Rusia acaba de ratificar (Sept. 2004), haciendo que el Protocolo sea ley internacional. Los Estados Unidos, a través de su presidente George Bush, se ha retirado vilmente de las negociaciones y seguramente comprado por los grandes intereses de las empresas de combustible fósil, a pesar de la grave responsabilidad de ese país frente al problema del cambio climático, ya que representa el 25 % de las emisiones globales y el 36,4% de las emisiones de países industrializados para 1990. La esperanza es que ahora el resto del mundo logre presionar a esa sociedad a ser mas consciente con el uso de los recursos de la humanidad, incluyendo los recursos energéticos y contibuyan a la solución del problema, mas que a agravar las consecuencias que desafortunadamente nos perjudicará a todos. El costo de la energía actualmente no toma en cuenta el posible costo del cambio climático, debido a las consecuencias de desastres naturales por el calentamiento global, que se espera se duplique cada década, y podría costar US\$150 billones en los próximos 10 años.

El costo de producción de energía eléctrica es muy variable, dependiendo de cual es la fuente. En la Tabla 4.2.1 se presentan los costos (en centavos de dólar por kilovatio-hora). La energía nuclear es de la mas costosa, aun sin considerar los riesgos de accidentes nucleares, proliferación de armas nucleares y los problemas asociados a los desechos nucleares.

Tabla 4.2.1 Costos de la electricidad con y sin costo externo (centavos de dólar por kilovatio- hora)

Fuente de electricidad	Costo de Generación <sup>1</sup>	Costo Externo <sup>2</sup>	Costo Total
Carbón/ lignita	4,3- 4,8	2-15	6,3- 19,8
Gas natural	3,4- 5,0	1- 4	4,4- 9,0
Nuclear	10- 14	0,2- 0,7	10,2- 14,7
Biomasa	7- 9	1- 3	8- 12
Hidroeléctrico	2,4- 7,7	0- 1	2,4 – 8,7
Fotovoltaico	25- 50	0,6	25,6- 50,6
Eólico	4- 6	0,05- 0,25	4,05- 6,25

1. Para los Estados Unidos y Europa. 2. Costo Ambiental y de Salud para 15 países en Europa

Los conflictos políticos, económicos, y militares sobre las reservas como las del petróleo se harán mas significativos conforme aumente la demanda mundial. El precio del petróleo será cada vez mas errático conforme aumente la demanda, los conflictos en las regiones ricas en petróleo y los efectos en la estabilidad de las economías alrededor del mundo. Las fuentes renovables son generalmente domésticas, no presentan riesgos de combustible o de transporte y son mucho menos vulnerables a ataques terroristas. Se pueden instalar rápidamente y se pueden ubicar en escala pequeña o en gran escala, llevando la energía a los sitios donde se necesita urgentemente, sin tener que invertir en nuevas plantas o líneas eléctricas. Las energías renovables son menos susceptibles a las fluctuaciones de los precios e imponen costo social, medio ambiental y de salud menor que los combustibles y las tecnologías convencionales. Igualmente, las energías renovables generan muchos mas empleos que las energías convencionales, lo que será muy beneficioso para áreas deprimidas. Muchos de los trabajos generados son de altos salarios y de alta tecnología y altas habilidades. Por ejemplo, España en 1994 tomó la decisión de invertir en energías renovables en áreas de alto desempleo. En Alemania, la industria de energía eólica ha creado 40000 trabajos (comparado con 38000 trabajos de la energía nuclear), una industria que produce 30% de la electricidad del país. En California, las energías renovables crean 4



veces mas empleos que las plantas de gas natural, manteniendo billones de dólares en el Estado y creando US\$11 billones en desarrollo económico en trabajos asociados e inversiones en el Estado. En Mongolia Interior, miles de personas tienen ahora acceso a la educación, información, y otros beneficios por primera vez gracias al uso de la televisión y la radio utilizando energía en sistemas eólicos y solares y ha mejorado el salario de la población a US\$150 mensuales. La China y la India han desarrollado su propia industria doméstica de turbinas de viento para la energía eólica. Mucho de los componentes de las casas solares y las fincas eólicas se producen en los mismos países en desarrollo, creando empleos, reduciendo costos y manteniendo las inversiones de capital en casa. Brasil tiene su programa de producción de etanol desde 1975, ha creado mas de 1 millón de empleos, bajando en 20% las emisiones de CO<sub>2</sub> del país y exporta combustible etanol y también exporta la tecnología. Kenia tiene ahora mas de 100 firmas (6 son domésticas) que proveen servicios para los sistemas fotovoltaicos (PV) en casi todas las ciudades del país.

Desde los años 1970 y los 1980 las tecnologías renovables han mejorado significativamente tanto en ejecución como en costo. Las ventas mundiales de energía limpia exceden US\$10 billones en 2001 y se espera que sobrepase los US\$82 billones para el 2010. y algunas grandes corporaciones están entrando en energías renovables, incluyendo Royal Dutch/Shell, BP y General Electric. Progreso tecnológico en muchas energías renovables- particularmente la energía eólica- ha sido bastante rápido y se espera que continúe, debido a avances tecnológicos, aprendiendo haciendo, manufactura automatizada y economía de escala debido al incremento en volumen de producción. La energía solar y eólica son las renovables mas conocidas, practicamente inagotable, pero hay otras también importantes: biomasa, geotérmica, hidráulica, energía oceánica de las mareas, ola, corrientes y térmica.

*Energía eólica-* Durante los últimos 15- 20 años la tecnología de la energía eólica ha evolucionado al punto que compite con las energías convencionales y es ahora la mas económica en base a per-kilovatio-hora (kWh). El tamaño promedio de las turbinas ha aumentado de 100-200 kW en 1990 a mas de 900 kW hoy día, permitiendo producir

mas energía con menos máquinas (Una máquina de 900 kW provee la electricidad necesaria para 540 hogares Europeos). Turbinas con capacidad de 2000- 5000 kW (2-5MW) están siendo instaladas fuera de las costas. Desde 1980 el costo promedio para generar electricidad por energía eólica ha caído de 44 centavos de dólar (2001) por kilowatio-hora a 4- 6 centavos de dólar en buenos sitios con viento. Los costos de la energía eólica se han reducido en un 20% en los últimos años y la empresa Vestas de Dinamarca predice que el costo de generar energía eólica caerá entre 3 -5% anualmente. Una turbina desarrollada en Alemania puede desalinizar agua, generar electricidad o producir hidrógeno por electrólisis del agua. La capacidad de energía eólica ha crecido mas del 30% durante la década pasada. (Ver Figura 4.3) Aproximadamente 6824 MW de capacidad eólica se añadieron en 2001, trayendo el total a 24900 MW, suficiente para proveer electricidad a 14 millones de hogares. Un 70% de la capacidad total está en Europa, pero se está generando en 45 países.

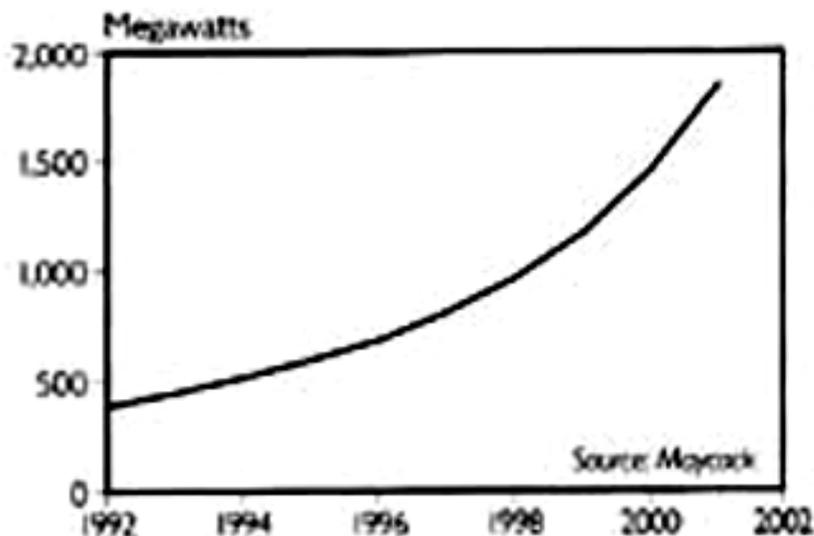


Fig. 4.3 . Capacidad eólica mundial acumulative (1992- 2001)

Las ventas en 2001 alcanzaron US\$6 billones, mas del doble que los dos años anteriores, y se estima que se emplean 100 000 personas a nivel mundial. La mayoría de las turbinas están en tierra, pero se están moviendo fuera de la costa, especialmente



en Europa, debido al costo de la tierra y los vientos marinos mas fuertes y confiables. Mas de 80MW de las turbinas están fuera de la costa, 5000 MW en proyecto mundialmente y 20 000 MW propuestos en áreas alrededor del norte de Europa. La energía eólica y solar son fuentes intermitentes que no se pueden prender o apagar cuando se necesiten. En Europa y Estados Unidos se estima que la red de electricidad puede soportar un 20% de fuentes intermitentes sin producir problemas técnicos. El viento provee electricidad a la red (lineas de transmisión) por mas del 20% en Alemania, Dinamarca y España. Este problema se puede resolver desarrollando tecnología para almacenar energía, con sistemas híbridos y mejoras en la predicción de los vientos.

La European Wind Association predice que la energía eólica producirá el 10% de la electricidad mundial para el 2020 y las ventas de turbinas de viento excederán los US\$200 billones para el 2010. De los 15 Gigavatios (GW) de capacidad eólica que se producen mundialmente, Europa tiene 10 GW instalados. En Dinamarca el 14% de la energía es eólica . Para el 2030, la India podría estar produciendo 10 GW, el 25% de sus necesidades de electricidad. En Texas se están construyendo fincas de viento para proveer electricidad a 139000 hogares. Con los vientos de Texas, Arkansas y las Dakotas se podría proveer de electricidad a todo Estados Unidos.

*Energía Fotovoltáica*- La energía fotovoltáica (PV) es actualmente mas costosa que la eólica, pero se espera que tenga reducciones dramáticas en costos, y produce energía durante el verano, cuando hay mayor demanda de electricidad. La energía PV es silenciosa, no-tóxica, no está basada en hidrocarburos, no produce emisiones, es confiable y se volverá económica alrededor del mundo en 2010. El mercado potencial para PV es enorme desde productos como calculadoras y relojes, sistemas de electricidad remotos e independientes, bombeo de agua y sistemas conectados a la red eléctrica en edificios o plantas de electricidad de gran escala Cada año el sol entrega a la tierra 10000 veces la energía que los humanos utilizan actualmente La utilización de energía fotovoltáica empezó lenta, y le tomó 30 años producir su primer gigavatio (billón de vatios), pero ha tenido un crecimiento reciente de 33% y se doblará para el 2003 (Ver Figura 4.4). La industria PV genera negocios por mas de US\$2 billones

---

anualmente y provee cientos de miles de trabajos. El año 2001 la industria generó US\$5,2 billones en ventas. Mas de un millón de hogares en los países en desarrollo tienen electricidad por primera vez de fuentes PV, y mas de 100 000 hogares en los países industrializados suplementan su energía con PV. La producción de celdas solares está concentrada en Japón, Europa y Estados Unidos, pero hay mercados y manufactura desarrollándose en los países menos desarrollados tales como la China y la India.

El incremento anual en crecimiento fue mayor en Japón (45%) y en Europa (43%). Japón tiene un programa de subsidio para instalar celdas solares que empezó en 1994. Con ese programa se instalaron sistemas PV en 168000 residencias, generando 622 MW. En el 2002, las empresas de electricidad compraron, según la legislación, 124 GW de energía en exceso producida en estos sistemas PV. Para finales del 2003, Japón tenía 887 MW instalados y planea tener 4820 MW para el 2010. El costo de instalación ha bajado desde US\$11 - US\$16 por vatio hasta US\$5,50 por vatio. Electricidad generada por PV cuesta entre 11-15 centavos de dólar por kWh, mas barato que la electricidad generada por combustible convencional, que cuesta 21 centavos de dólar por kWh. (Ver Figura 4.6)

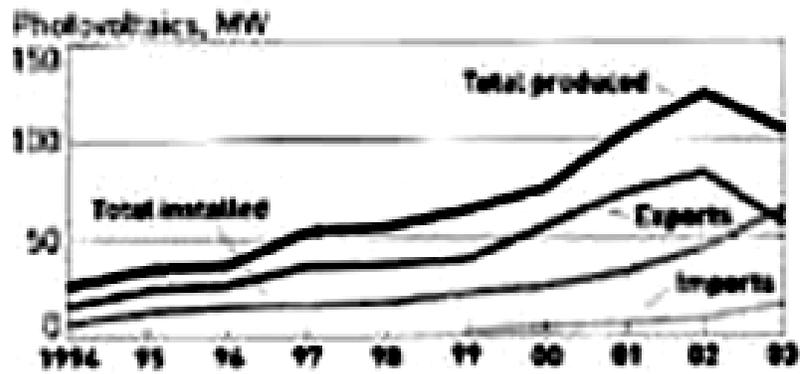
La producción global de PV se espera que aumente entre 40 y 50% en los próximos años. Desde 1970 los costos han disminuido 20% por cada duplicación de la capacidad instalada, o cerca de 5% anual. PV es ahora la opción mas económica para sitios lejanos al sistema de red eléctrica. Cuando se usan como fachadas de edificios, PV pueden ser mas económicos que mármol o granito, con la ventaja que produce electricidad. Los costos de generación de energía están en el rango de 25 centavos de dólar a 1 dólar por kWh, todavía muy costoso y es la principal barera para uso masivo de PV. Otra desventaja es el tiempo de operación produciendo electricidad para pagar la energía necesaria para su producción; este tiempo para celdas solares para techos es de cuatro años, con una vida esperada de 30 años. Si el crecimiento de la última década se mantiene, para el 2020 podrían estar instaladas a nivel mundial 48 000 MW de PV solares y mas de 2,6 millones MW de turbinas de viento, equivalente al 78% de



la capacidad eléctrica global para el 2000 y 45% de la proyectada para el 2020. Pero este crecimiento no parece factible, pero si se establece la infraestructura necesaria la energía eólica podría satisfacer 12% de la demanda global de electricidad para el 2020 y PV supliría el 26% de la demanda mundial para el 2040. El costo de celdas solares se ha reducido en 95% desde 1970. La eficiencia de celdas PV es entre 10 y 20% y un panel de celdas de un metro cuadrado produce entre 100 y 200 vatios de energía eléctrica. En 1998, los precios de PV bajó por debajo de US\$4 por vatio por primera vez. La producción mundial de PV es de 744 MW en el 2003. 56% de la producción está conectada a la red eléctrica, 34% está fuera de la red (19% rural; 11% comunicaciones; 4% residencial); 10% en productos para el consumidor. El desarrollo futuro de las celdas solares va en la dirección de mejorar la eficiencia de conversión de la luz solar en electricidad. Esto se ha logrado en prototipos mejorando los diseños, como por ejemplo con varias capas que absorben en diferentes regiones del espectro para aprovecharlo completo. Mejorando los materiales semiconductores utilizados y depositando películas delgadas con fotosensibilizadores que pueden utilizarse en ventanas, techos o fachadas o que pueden moldearse sobre plástico para artefactos o aplicaciones flexibles.

## U.S. SLIPS

### Production, export of photovoltaics decline



SOURCE: PV Energy Systems Inc.

## APPLICATION

### Japan leads in annual photovoltaic installations



SOURCE: Worldwatch Institute



## MANUFACTURE World leader in photovoltaic production is Japan

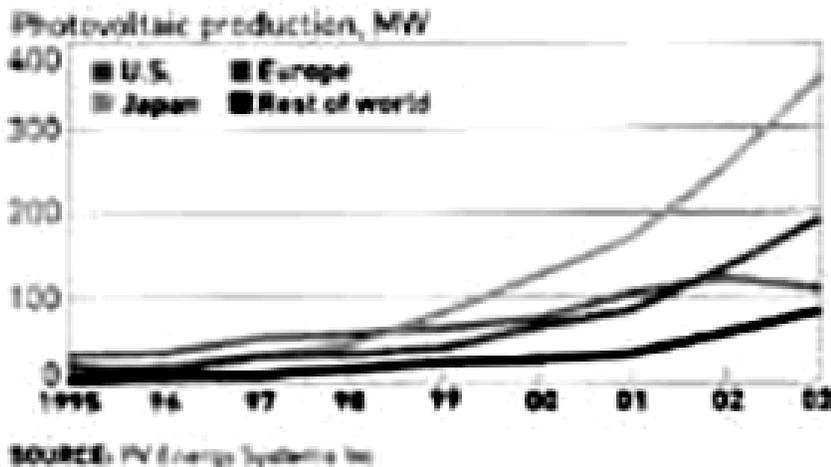


Fig. 4.6 Producción e instalaciones fotovoltaicas en varios países.

El ejemplo de Alemania es interesante ya que demuestra que es posible empezar a hacer el cambio a energías renovables en forma ordenada y con beneficios para la población. Se requirió de legislación apropiada y programas de estímulo por parte del Estado, principalmente para contrarrestar la oposición de los productores de energías convencionales y de la energía nuclear, muy importante en el sistema de producción de electricidad alemana. Al aumentar la demanda, se logró reducir los costos. El costo promedio de manufactura de las turbinas de viento se redujo un 43% entre 1990 y 2000. La capacidad eólica se disparó de 56 MW a principios de 1991 a más de 6100 MW una década más tarde y fue de 12 000 MW para el 2002, cubriendo el 3,75% de las necesidades de electricidad en Alemania. En el norte de Alemania donde está concentrado el desarrollo eólico, provee el 26% de la necesidad anual de electricidad. Alemania también ha promovido el desarrollo de sistemas fotovoltaicos. Desde 1992, la industria de PV ha crecido un 49% y sobrepasó a Estados Unidos en el 2001, finalizando ese año con una capacidad de 192 MW, la gran mayoría conectada a la red de transmisión. Para el final de 2003 se espera una capacidad de 440 MW. Los precios

de instalación de PV se ha reducido 39% y el número de empleos de la industria de PV se ha cuadruplicado a 6000 desde 1995. Alemania ha prometido reducir sus emisiones un 21% por debajo de su nivel en 1990 para el 2010 y el país logrará esto con el incremento en el uso de energía renovable. El Gobierno Alemán espera generar el 25% de la electricidad via eólica para el 2025, con 20 000 a 25 000 MW instalados fuera de la costa. Otros países han establecido legislación y programas para desarrollar energías alternas. En Europa, Dinamarca y España han propiciado la energía eólica, y hoy poseen, junto con Alemania, el 59% de la capacidad instalada mundial en esta fuente renovable. En la Figura 4.5 se presenta el crecimiento en energía eólica en tres países. La Unión Europea ha fijado la meta de generar el 22% de su electricidad con energías renovables para el 2010. La India y la China también tienen industria eólica local y mucha demanda de esta fuente de energía. En energía PV, el Japón es el principal productor a nivel mundial. La capacidad de producción ha aumentado mas de 41% anual desde 1992. Sobrepasó a los Estados Unidos hacia el final de los años 1990. (Ver Figura 4.6) Para el 2000, el gobierno japonés estaba invirtiendo US\$200 millones anuales en programas de PV. El costo de sistemas PV ha disminuido 75% desde mediados de 1990 y la compañía Sharp es el primer productor mundial de celdas solares;

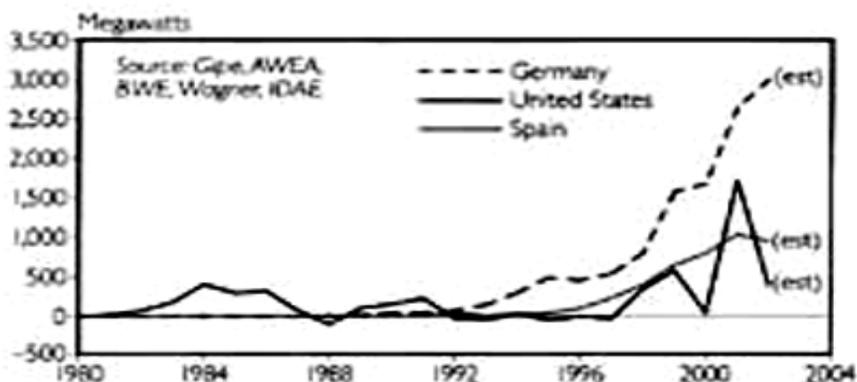


Fig. 4.5 Capacidad eólica añadida en Alemania, España y EE. UU (1980-2002)

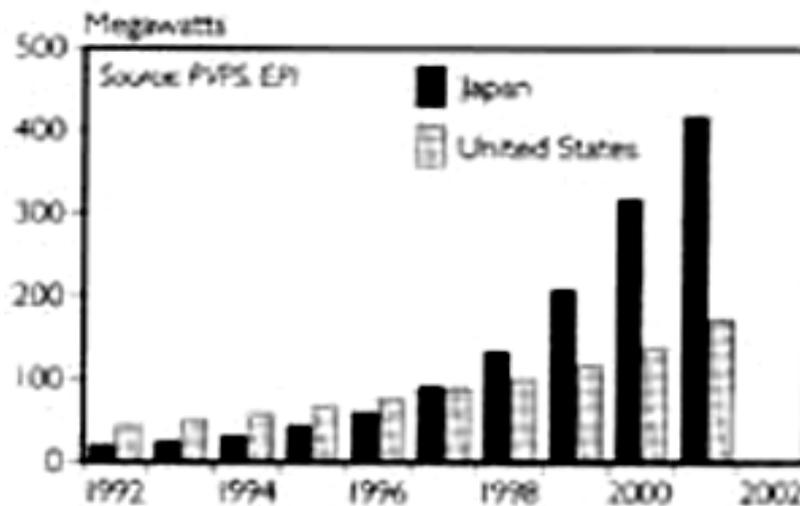


Fig. 4.6 Capacidad fotovoltaica acumulativa, Japón, EE.UU.(1992-2001)

Su producción ha crecido seis veces desde 1999- de 30 MW a 198 MW. La empresa japonesa Kyocera Solar es la tercera, RWE Schott Solar, empresa alemana es la quinta. Dos empresas asociadas a empresas petroleras, BP Solar y Shell Solar, están entre las primeras cinco. La empresa BP Solar, que produce el 10% de las celdas solares a nivel mundial, acaba de montar un proyecto de US\$48 millones en la isla de Mindanao en Filipinas, que proveerá electricidad a 400000 habitantes en 150 aldeas muy pobres, moverá 69 sistemas de irrigación y 97 sistemas de agua potable, y provee electricidad y luz para docenas de escuelas y clínicas médicas.

*Energía nuclear:* Otra alternativa a las fuentes de energía no renovable de los combustibles fósiles que ha sido presentado como favorable es el continuo desarrollo de la energía nuclear. Esta es una fuente que realmente no es completamente renovable, ya que los materiales fisionables que producen la energía son muy limitados en la corteza terrestre y no todos los países los tienen, producen cantidades importantes de desechos altamente radioactivos cuando el combustible se agota, y debido a lo complejo de su ingeniería son susceptibles de accidentes con

consecuencias muy severas. Otro factor desfavorable de las plantas nucleares es que bajo ciertas condiciones, un reactor puede utilizarse para producir más material fusionable como plutonio, que puede utilizarse en la preparación de armas nucleares, conduciendo al mundo a posible proliferación de bombas atómicas.

Ya se está desarrollando la nueva generación de plantas nucleares que se supone mejoran la seguridad, son más económicas y tienen diseños más sencillos. Los nuevos reactores se describen como “evolucionarios” o “revolucionarios”, conocido como la III y III+ generación, derivados de la flota de II generación construidos en los años 1970 y 1980. La III generación se desarrolló en los 1990, tienen sistemas de seguridad mejorados, son más económicos de construir, operar y mantener. Hay dos en operación y cuatro en construcción. No hay ningún reactor tipo III+ en operación. La generación IV es revolucionaria en diseño y un sistema de ciclo de combustible. Seis diseños nuevos están siendo analizados por la Generation IV Internacional Forum (GIF), conformado por nueve países: Argentina, Brazil, Canadá, Francia, Japón, Sud Africa, Sur Korea, Reino Unido y Estados Unidos. Se espera que esta generación de reactores estén en operación hacia el 2030.

En la actualidad hay 441 reactores nucleares operando en 31 países, produciendo más de 363 billones de vatios de electricidad. Otros 30 reactores están en construcción en 24 países, seis de los cuales no tienen reactores nucleares, y 104 están propuestos o en planes para construir. La energía nuclear se propone expandir para otros usos no eléctricos como producir hidrógeno, desalinizar agua y calentar distritos. En Estados Unidos hay 103 reactores que generan 97 billones de vatios, cerca del 20% de la electricidad del país. Estos reactores tienen un costo de operación de 1,68 centavos de dólar por kilovatio-hora, segundo solo a la energía hidroeléctrica. Las predicciones indican que Estados Unidos necesitará 335 billones de vatios de nueva capacidad para el 2025. Esta demanda requerirá construir en promedio 50 a 60 nuevas plantas por año en las próximas dos décadas. Los países europeos generan cerca del 35% de su electricidad con energía nuclear- más que con cualquier otra fuente- Francia y Bélgica producen el 78% y 55% respectivamente. En la Unión Europea solo Finlandia tiene



planes para construir un reactor nuclear. Bélgica, Alemania, Holanda y Suecia tienen planes para terminar con las plantas actuales. Austria, Dinamarca e Irlanda han empezado políticas contra energía nuclear. Italia está desmantelando sus cuatro reactores por referéndum popular. España tiene 9 reactores en operación, pero tiene un moratorio en nuevas construcciones. Rusia tiene seis reactores en construcción y se propone construir ocho más. China, India, Japón, Sur Korea y Taiwán tienen extensos programas de energía nuclear. Se están construyendo 17 y otros 70 están en planes o propuestos.

El reactor Magnox británico fue el primer reactor comercial en los años 1950. Utiliza combustible de uranio metálico natural, que contiene 0,7% del isótopo fisionable U-235 y 99,2% de U-238 no fisionable, encapsulado en una aleación de magnesio y aluminio. Utiliza un moderador de grafito que enfría los neutrones liberados por la fisión del U-235, de manera que puedan ser capturados por otros U-235 y empezar la reacción en cadena. Utiliza barras de control de acero al boro que absorbe los neutrones y puede apagar la reacción. CO<sub>2</sub> gaseoso se usa para enfriamiento y transfiere el calor a una turbina de vapor que genera electricidad. Un total de 26 reactores Magnox se construyeron en el Reino Unido, ocho están en operación pero serán cerrados para el 2010. Estos reactores tipo Magnox se conocen como la generación I. La generación II de reactores de los años 1970 y 1980, corresponde a la mayoría de las plantas actualmente en operación. Cerca del 60% de estos reactores son del tipo con agua presurizada (PWR), que sirve de moderador y de enfriamiento. El combustible es una cerámica de dióxido de uranio, encapsulado en largos tubos de aleación de zirconio. El U-235 está enriquecido a 3,5-5,0%. El segundo tipo más común de reactor es el de agua hirviendo (BWR), de los cuales hay más de 90 operando en el mundo. Este modelo de reactor se parece al PWR, pero el agua de enfriamiento se permite hervir y el vapor sale desde arriba del reactor y pasa directamente a la turbina. Los reactores PWR y BWR funcionan con agua normal. En Canadá hay 33 reactores CANDU (Canada deuterium uranium) y son reactores de agua presurizada, que emplean D<sub>2</sub>O (agua pesada o deuterada) como moderador y enfriamiento. Utiliza dióxido de uranio natural (0,7% U-235) como combustible. La segunda generación de reactores en el

Reino Unido son reactores avanzados enfriados con gas (AGR). Como los Magnox, utilizan grafito como moderador y  $\text{CO}_2$  como enfriador, el combustible es óxido de uranio enriquecido (2,5- 3,5% U-235) encapsulado en tubos de acero inoxidable, que permite trabajar a mayores temperaturas. Los reactores rusos RBMK son de agua hirviendo con grafito como moderador. El reactor de la planta nuclear de Chernobyl en Ucrania que se desintegró en una explosión de vapor en Abril de 1986 era un reactor RBMK. Los reactores que usan agua, deuterio o grafito como moderadores para hacer mas lentos los neutrones y sostener la reacción en cadena se llaman “reactores térmicos”. En contraste, los reactores con neutrones rápidos no utilizan moderador y usan neutrones rápidos para generar energía. Cuando se configuran para producir mas material fisionable que el que consumen, se conocen como reactores productores rápidos (fast breeder). El combustible contiene una mezcla de  $\text{UO}_2$  y dióxido de plutonio. El enfriador es un metal líquido como el sodio. El isótopo U-238 captura neutrones creando el isótopo fisionable Pu-239. Varios países como China, Japón, e India tienen reactores productores rápidos. Un fast breeder en Rusia ha estado produciendo electricidad a la red desde 1981. El primer sistema de generación III, diseñados por la General Electric son BWR avanzados, empezó a operar en 1996 en Japón, y otro está ahora en operación, dos mas en construcción en Japón y otros dos en Taiwán

El punto mas importante que la población discute sobre energía nuclear es el problema de la seguridad. Los reactores de la generación IV incorporan sistemas de seguridad pasivos. Hay tres objetivos primarios en la seguridad de un reactor nuclear. El primero es el control de la reactividad, o sea el proceso de parar la reacción de fisión. Todos los reactores occidentales incorporan controles de reactividad como parte del diseño. El reactor de Chernobyl no tenía el control de reactividad, sino que tenía procedimientos de operación que fueron violadas el día del accidente. El segundo objetivo de seguridad es remover el calor de descomposición radioactiva de los productos de fisión, que continua aunque la fisión haya cesado. Si no se remueve el calor puede resultar en sobrecalentamiento que daña y funde el combustible (síndrome de la China). Este tipo de sobrecalentamiento causó el accidente del reactor de Three Mile Island en



Pennsylvania en marzo de 1979. El tercer objetivo de seguridad es proveer múltiples barreras para contener los materiales radioactivos. Las barreras incluyen recubrimiento del combustible, el recipiente del reactor y el edificio de retención. Los reactores de generación I y II tienen sistemas de seguridad “activos” porque dependen de controles mecánicos y eléctricos de los equipos tales como sensores, válvulas, bombas, acumuladores, intercambiadores de calor y fuentes de poder de respaldo. En los reactores nucleares de hoy día, la remoción del calor de la descomposición radioactiva en caso de un accidente de pérdida de enfriador, la realiza un sistema de seguridad activo que consiste en equipos redundante y diversos capaz de bombear agua para enfriar el núcleo del reactor. En los sistemas de seguridad “pasivos”, el calor del reactor se remueve por flujo bajo gravedad, usando una combinación de convección y cambios de fase del enfriador y un sistema de baterías para abrir válvulas y mantener el control. El reactor de agua hirviendo simplificado (ESBWR) de la General Electric tiene sistema de seguridad pasivo. El reactor AP1000 de la Westinghouse tiene un sistema de seguridad pasivo y tiene un sistema modular que reduce el tiempo de construcción. El AP1000 tiene combustible de óxido mixto (MOX), que contiene óxidos de uranio y de plutonio (5%). El AP1000 tiene menos componentes que un PWR convencional (50% menos válvulas, 35% menos bombas, 80% menos tuberías, 85% menos cable). Con los nuevos diseños de reactores se espera que para el 2010 el precio de la electricidad estará en el rango de US\$1000- US\$1200 por kilovatio de electricidad . Los reactores de agua liviana alcanzan una temperatura máxima de 350 °C, o sea que la eficiencia térmica es limitada. El reactor modular de lecho de tabletas (pebble-bed) (PBMR) que actualmente se planifica para construir en Sud- Africa para 2010, es un reactor de alta temperatura (HTR), que usa helio como enfriador y grafito como moderador y puede operar a 900 °C, que daría una eficiencia térmica de 44% . El helio se mueve hacia los compresores y las turbinas que transforman el movimiento en electricidad. Los PBMR se pueden agrupar hasta en 10 unidades. Los reactores enfriados con agua supercrítica (SCWR) operan entre 510 -550 °C y los enfriados con helio a alta temperatura (VHTR) operan a 1000 °C. Los productos de desecho radioactivo de la fisión nuclear incluye elementos actínidos como neptunio, americio, y curio que permanecerán radioactivos por decenas de miles de años. En los sistemas de combustible de ciclo cerrado los

actínidos se separan del combustible consumido y se retorna al reactor de fisión. Los reactores VHTR, los enfriados con helio y los de sales fundidas, como trabajan a temperatura alta, se pueden utilizar para romper el agua y producir hidrógeno.

Para forjar la energía del futuro se requiere tomar una serie de medidas que propicien la utilización de energías renovables:

- Establecer políticas para energías renovables que sean consistentes, a largo plazo y flexibles, con suficiente anticipación.
- Enfatizar la creación de mercados para energías renovables.
- Proveer acceso a la red eléctrica y estandarizar los pagos que cubran los costos de generación con políticas similares al acceso justo y leyes de precios estándar usados en la mayoría de Europa.
- Proveer asistencia financiera para reducir los costos primarios a través de préstamos de largo plazo y bajo interés con pagos de producción de tecnologías mas avanzadas y a través de rebajas en inversiones para tecnologías mas costosas como PV solar, con eliminación gradual.
- Diseminar información respecto disponibilidad de recursos, los beneficios y potencialidad de energías renovables, estadística de capacidad y generación, incentivos gubernamentales y éxitos y fracasos de las políticas a nivel local, nacional e internacional.
- Auspiciar la propiedad individual y de cooperativas de proyectos de energía renovable, y asegurarse que todos los inversionistas se involucren en los procesos de toma de decisiones.

Establecer estándares de funcionamiento, seguridad y ubicación.

Incorporar todos los costos en el precio de la energía, y cambiar los subsidios del gobierno y las compras de las energías convencionales a las energías renovables.



### 4.3 Economía del hidrógeno:

La evolución reciente del uso energético ha permitido ir incorporando combustibles o fuentes de energía que cada vez contienen una mayor proporción de hidrógeno comparado con la cantidad de carbono. Así la leña y el carbón tienen uno o dos carbonos por cada átomo de hidrógeno, petróleo tiene uno de carbono por cada dos de hidrógeno y el gas natural puede llegar a un carbono por cada cuatro hidrógenos. Estas sustituciones de fuentes de combustible favorece la proporción de CO<sub>2</sub> producido y se denomina “decarbonización”. Pero lo ideal sería poder utilizar una fuente de energía que no contenga carbono. Esta fuente sería el hidrógeno. El hidrógeno es el elemento mas liviano y abundante del universo, es el componente primario del sol y se encuentra representado ampliamente en la Tierra en la forma de agua (H<sub>2</sub>O). El hidrógeno del agua no está disponible directamente para ser utilizado como combustible, sino que requiere ser extraído del agua.

El proceso de descomposición del agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno elemental es un proceso que requiere energía (es endotérmico), pero se logra por electrólisis (aplicar una corriente eléctrica a un potencial apropiado sobre electrodos favorables, ej. Platino). Producir hidrógeno por electrólisis es tecnológicamente factible, puede alcanzar 75% de eficiencia, pero no sería sustentable, ya que se requiere una fuente de energía para producir la electricidad. Utilización de celdas solares o turbinas de viento son una alternativa para la producción de hidrógeno vía electrólisis, pero hay que considerar la eficiencia del proceso. Industrialmente se produce hidrógeno de la reacción catalizada entre vapor de agua y gas natural, con CO<sub>2</sub> como subproducto, o de procesos de reformado del carbón o de hidrocarburos, todos procesos costosos energéticamente. Otra manera sería descomponer el agua por un método fotoquímico directamente utilizando luz solar (la única fuente confiable de energía) tal como lo logran las plantas. Este sería el método sustentable de hacerlo, pero se requiere la presencia de un catalizador apropiado y la tecnología adecuada, que todavía no poseemos. El proceso inverso: combinar los elementos oxígeno mas hidrógeno (ambos gaseosos) para producir agua pura produce energía (es exotérmico) en forma de calor o electricidad en forma controlada.

La tecnología para producir electricidad de la combinación oxígeno mas hidrógeno ya existe en la forma de celdas a combustible, utilizando membranas permeables a los gases y electrodos apropiados (ej. Platino), es muy eficiente y es fácilmente escalable. Esto completaría el ciclo de producción de energía utilizando hidrógeno derivado del agua como la fuente primaria, que organizada mundialmente (almacenado como líquido, transportado en tuberías o almacenado en bombonas) conformaría la economía del hidrógeno: la solución duradera, limpia y sustentable para el futuro de la humanidad. El hidrógeno sería la manera de almacenar la energía. Cualquier método que se utilice para producir electricidad: con combustible fósil, geotérmico, hidráulico, o renovable (solar, eólico, mareas, biomasa, etc.) tiene el problema de cómo almacenar la energía producida. Se pueden cargar baterías, pero a gran escala no es práctico.

Han habido varias propuestas desde hace años sobre la utilización de hidrógeno como fuente de energía, pero se empezó a invertir en investigación seriamente después del embargo de la OPEC a principios de los años 1970. Tan pronto el precio del petróleo volvió a caer en los mercados internacionales, se olvidaron del hidrógeno. Solo a partir de los claros informes sobre el cambio climático en los años 1990, se ha retomado la idea y la investigación.

Compañías como la Royal Dutch/Shell y BP ya tienen grupos trabajando en hidrógeno y están invirtiendo cantidades importantes en investigación. Las empresas automovilísticas como la Toyota, Honda, Nissan, Mitsubishi en Japón esperan tener prototipos en los próximos 5 años y están invirtiendo US\$ 1 billón en el esfuerzo, Daimler-Benz, Daimler-Chrysler en Alemania también están invirtiendo US\$1 billón, General Motors y Ford en Estados Unidos ya están probando prototipos de automóviles y vehículos utilizando sistemas híbridos o eléctricos usando celdas a combustible con hidrógeno y estarán en el mercado para el 2010. GM ofrece el modelo Hy-wire y está invirtiendo US\$100 millones al año para desarrollar la producción del Hy-wire y ser la primera compañía en producir un millón de esos vehículos.



Países como Islandia propone utilizar sus amplias reservas geotérmicas para producir hidrógeno, cambiar toda su economía el hidrógeno y empezar a exportar hidrógeno como fuente energética. Ya existen ejemplos de cómo se puede organizar la producción y uso del hidrógeno: una empresa entre una organización ambiental local, Clean Air Now y la empresa Xerox en El Segundo, California empezó a funcionar en 1995 en un proyecto de US\$2,5 millones que captura energía solar en un sistema PV (Solar Engineering Applicatios Corporation), la convierte en electricidad, que va a un electrolizador (Electrolyser Corporation de Canada) para producir entre 1500 y 2000 pies cúbicos de hidrógeno por día. El gas hidrógeno es secado y comprimido (5000 libras/ pulgada cuadrada), que es utilizado en camiones Ford Ranger con celdas de combustible.

Cuando el precio de producir energía eólica caiga a 1,5 centavos de dólar por kilowatio-hora, hidrógeno generado por electrólisis será competitivo con la gasolina. Ya están instalados sistemas de producción de hidrógeno en base a energía eólica en Alemania, Italia, España, Suiza, Finlandia, Estados Unidos y aun Arabia Saudita.

Las celdas a combustible en base a hidrógeno pueden utilizar un electrolito alcalino o una membrana permeable que permite el paso de iones hidronio del ánodo al cátodo. El hidrógeno se introduce en el lado del ánodo donde se libera un electrón y un ion hidronio. El electrón retorna al cátodo donde reacciona el ion hidronio con oxígeno del aire y forma agua. En el funcionamiento de la celda se aprovecha la electricidad, el proceso es silencioso, no hay partes movibles, es 2 y medio veces mas eficiente que el motor de combustión interna y el único efluente es agua pura. Las celdas a combustible pueden ser del tamaño para el hogar de 1 a 15 kilowatios o de tamaño industrial de 60 a 250 kilowatios. Las celdas vienen en módulos que se pueden añadir según las necesidades.

Como las unidades se ubican cerca de donde se requieren: fábricas, negocios comerciales, edificios públicos, hospitales, urbanizaciones o residencias privadas; ya no es necesario pertenecer al sistema general de red eléctrica, sino que la distribución

será descentralizada, mucho mas confiable y sin los problemas típicos recientes de las redes gigantescas que se caen cada vez con mayor frecuencia. Las empresas tales como los bancos, las telecomunicaciones, los sistemas de informática, la industria de microelectrónica son altamente vulnerables frente a un apagón, con pérdidas millonarias en caso que ocurrieran. El negocio de la generación de electricidad auxiliar es enorme y muchas empresas y negocios están instalando sistemas de celdas a combustible, con la posibilidad de eventualmente independizarse de la red central. Electricidad generada vía celdas a combustible cuesta ahora entre US\$3000 y US\$4000 por kilowatio, comparado con US\$500 a US\$1000 por kilowatio de energía eléctrica convencional, pero los precios deben reducirse al aumentar la demanda y se abarate por la economía de gran escala.

La organización de los sistemas de producción de electricidad a nivel local utilizando celdas a combustible y los sistemas de computación y telecomunicaciones, en redes mas amplias de interconexión y compartir la energía de una manera similar al world wide web (WWW) tendrán un impacto favorable en la optimización del recurso. Estas mini-redes locales eventualmente estarán conectadas a la red general, permitiendo que el exceso de producción en las fuentes individuales pueda ser vendido a la red a precio regulado y el control de la red de energía permita responder a las demandas en horas pico y dirigir la energía en forma muy específica a donde se esté necesitando.

Esto requiere legislación por parte de los Estados, romper con el monopolio casi absoluto de la producción, distribución y venta de las empresas de energía convencionales y que han sido el mayor obstáculo para permitir el ingreso de las fuentes renovables en el mercado y terminar con los subsidios escandalosos a las empresas de energía convencionales, que continúa siendo entre US\$150 y US\$300 billones a nivel mundial. La posibilidad de incorporar a la red los posibles millones de autos con celdas a combustible y producir electricidad mientras están estacionados (96% del tiempo) será un cambio sin precedentes en la capacidad de la red de complementar las necesidades de energía de la sociedad. Actualmente hay 750 millones de autos de pasajeros en base a gasolina convencional en el mundo y el



número se espera que se duplique en los próximos 25 años. En los Estados Unidos solamente el transporte consume el 54% del petróleo utilizado cada año. Globalmente, el transporte consume el 20% de toda la energía y produce el 17% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Será una bendición poder transformar esa flota en productores de energía. Un aspecto que debe resolverse es la distribución amplia del combustible hidrógeno, con una característica comparable a las estaciones de gasolina actuales. La propuesta actual de algunas industrias automovilísticas de tener en cada auto un convertidor catalítico para producir hidrógeno desde metanol, gas natural o un hidrocarburo no es una solución sustentable y constaría US\$1 trillón adecuar la flota al modelo final sin convertidores. Se argumenta que la red de tubería para transportar hidrógeno desde grandes centros de producción sería muy costosa. Pero la alternativa es pensar más localmente, ya que el hidrógeno se puede generar en centros locales por electrólisis o reforming de gas natural (una solución temporal) sin necesidad de tener que transportarlo a grandes distancias. Ambos sistemas de producción de hidrógeno funcionan tanto a escala pequeña como a escala mayor. Los sistemas de celdas a combustible ya instaladas en residencias, en comercios o industrias, pueden ser utilizados para producir hidrógeno en los períodos de baja demanda de electricidad. El gas hidrógeno a presión que se lleva en el vehículo ocupa mayor volumen que la gasolina o metanol, pero con un rediseño la Ford tiene un prototipo que acomoda bien la bombona de hidrógeno y tiene un rango de 380 millas. En Enero de 1999 se abrió la primera estación comercial de hidrógeno en Hamburgo, Alemania para suplir la flota creciente de vehículos con celdas a combustible de hidrógeno. El estado de Michigan (como también Ohio y California) está lanzando programas de incentivos en impuestos para atraer industrias relacionadas con la economía del hidrógeno, celdas a combustible y autos eléctricos con hidrógeno y tratar de mantener un liderazgo en las nuevas tecnologías del hidrógeno. En Octubre del 2002, la Unión Europea anunció al mundo que la Unión espera ser la superpotencia de la superintegrada economía del hidrógeno del siglo XXI. Ya la UE está comprometida a hacer la transición desde la dependencia con combustibles fósiles convencionales a energía renovable futura. El ambicioso plan propone que para el 2010, 22% de la electricidad y 12% de toda la energía producida en la UE será producida de fuentes renovables. Se ha formado una

alianza entre el sector público- sector privado- sociedad civil para desarrollar el nuevo régimen economía del hidrógeno. La UE ha aumentado su compromiso de £ 127 millones para desarrollo de energía sustentable para los próximos cuatro años hasta £ 2,1 billones desde 2003 al 2006. El gobierno de G. Bush en Estado Unidos introdujo una propuesta de energía para el país, pero propone darle US\$1,7 billones en los próximos cinco años a la industria del carbón, petróleo, gas natural y nuclear para extracción de hidrógeno, pero nada para investigar en las energías renovables. Esto muestra claramente que G. Bush está vendido a las poderosas empresas de la energía tradicional y no permitirán al país salir de su dependencia con esos combustibles no sustentables.

El futuro de la economía del hidrógeno podría estar muy cerca, pero va a depender de las decisiones valerosas que se tomen para salir de la dependencia con los combustibles fósiles, que se establezcan las investigaciones para resolver los problemas de la ciencia y la tecnología de las fuentes renovables de la energía, incluyendo la utilización del hidrógeno y su producción sustentable, que se empiece a montar la infraestructura necesaria para introducir las fuentes renovables en todos los rincones del planeta y se prepare a la gran población para efectuar el cambio de la manera mas favorable posible.

#### **4.4 El futuro de la humanidad**

Cuando uno entra a un cuarto de la casa y enciende la luz, normalmente no se preocupa desde donde está llegando la electricidad y como es el complicado proceso de producir y distribuir la energía necesaria para nuestra comodidad. Esta comodidad podría cambiar muy pronto pues como vimos antes, las fuentes de energía fósil pueden agotarse. Entre 1850 y 1970 el número de personas en la tierra se triplicó y la energía que ellas consumían aumentó 12 veces. Para el 2002, nuestro número ha aumentado otro 68% y el consumo de combustible fósil aumentó en otro 73%. Los países mas industrializados continúan consumiendo la mayor porción de petróleo a nivel mundial: 62%. El uso de petróleo en Estados Unidos se duplicó desde 1960. Con solo 2% de las reservas mundiales de petróleo y 4,5 % de la población mundial , Estados Unidos es el



mayor consumidor de petróleo y consume como el 35% de la energía mundial. El ciudadano promedio en Estados Unidos consume cinco veces mas energía que el promedio mundial, 10 veces mas que el ciudadano Chino y 20 veces mas que el ciudadano Indú. La Tabla 4.4.1 muestra el consumo anual de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> para varios países. La demanda de energía de los países en desarrollo también está creciendo muy rápidamente. La China es el primer consumidor de carbón y el tercer consumidor de petróleo, Brasil es el sexto, India el octavo y México el décimo. China depende del carbón en un 70% para su energía comercial y la India en un 50%. Estos dos gigantes poblacionales se espera que requieran dos terceras partes del incremento mundial en uso del carbon para el año 2030. La economía China se cuadruplicó en tamaño desde 1980. Durante los años 1980 aumentó la demanda de electricidad en mas de 400%, debido al incremento en artefactos eléctricos.

Tabla 4.4.1 Consumo anual de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> de algunos países

Pais	Energía comercial	Petróleo	Electricidad	Emisiones CO <sub>2</sub>
	Ton. de petróleo equiv. P. pers.	Barriles por día por miles de población	Kilowatio-hr por persona	Toneladas por person
<b>Estados Unidos</b>	8,1	70,2	12331	19,7
<b>Japón</b>	4,1	42,0	7628	9,1
<b>Alemania</b>	4,1	32,5	5963	9,7
<b>Polonia</b>	2,4	10,9	2511	8,1
<b>Brasil</b>	1,1	10,5	1878	1,8
<b>China</b>	0,9	4,2	827	2,3
<b>India</b>	0,5	2,0	355	1,1
<b>Etiopía</b>	0,3	0,3	22	0,1

En la India aumento seis veces el número de familias “afluentes” que demandan mayor número de implementos eléctricos, iluminación, gas para cocinar y mayor movilidad (autos privados). La venta de autos aumentó un 82% en la primera parte del 2003; la flota de autos es de 5 millones en 2000, pero crecerá a 24 millones para el 2005, aumentando la demanda de combustible, el congestionamiento y la contaminación de las ciudades chinas.

El uso de energía en los diferentes países no tiene ninguna relación con el sentimiento de bienestar que la población tiene. Esto se muestra en la Tabla 4.4.2 Note el contraste entre los países Escandinavicos y los países del Golfo Pérsico.

Tabla 4.4.2 Uso de energía y bienestar de países seleccionados

Pais	Rango de Bienestar <sup>1</sup>	Rango en uso de energía per cápita <sup>2</sup>	%(Suecia) de uso de energía per cápita
Suecia	1	10	100
Finlandia	2	6	112
Noruega	3	8	104
Austria	5	26	61
Japón	24	19	70
Estados Unidos	27	4	140
Feder. Rusa	65	17	71
Kuwait	119	3	162
Emiratos Arabes Unidos	173	2	190

<sup>1</sup> En 180 países. <sup>2</sup> Basado en fuente de energía primaria

La población actual es altamente móvil, pero para hacerlo requiere mucho combustible. El transporte mundial consume hoy día 30% de la energía total y 95% del consumo de petróleo. Estados Unidos se devora mas de un tercio de la energía de transporte mundial. Un total de 40,6 millones de autos salieron de las ensambladoras en el 2002, cinco veces mas que en 1950. La flota de autos de pasajeros excede 531 millones mundialmente, creciendo con cerca de 11 millones anualmente. El número de vehículos a nivel mundial es de 681,8 millones en 1999, de los cuales 213,5 están en Estados Unidos, y consumen 40% del petróleo nacional. En otros países el número de autos también está aumentando, por ejemplo en Asia y el Pacífico está creciendo entre 10-15%. Igualmente está aumentando el tamaño y el peso de los vehículos, siendo los SUV muy preferidos hoy, a pesar de su alto consumo de combustible. El uso del sistema de transporte público sería una alternativa para ahorrar energía. Por cada kilómetro manejado en un vehículo privado se consume tres veces mas combustible que el transporte público. En Tokyo, 92% de los viajeros de la ciudad lo hacen en tren, y los japoneses hacen solo el 55% de sus diligencias en carro. 10% de los europeos



occidentales utilizan el transporte público en sus viajes urbanos, 7% de los canadienses y solo el 2% de los estadounidenses. Una alternativa interesante son los autos híbridos, que incorporan el uso de gasolina y celdas de combustible y motor eléctrico, que son mas eficientes que los motores de combustión interna. Para enero 2003 había 150000 carros híbridos a nivel mundial. Muchas ciudades en el mundo como Santiago de Chile, Bogotá, Zurich y Portland, han reaccionado a la congestión y la contaminación del aire, mejorando sus sistemas de transporte público y estableciendo impuestos de ingreso al centro de la ciudad como en Londres y Singapur.

El futuro de la economía del hidrógeno va depender de cómo se organice a nivel mundial la disponibilidad del hidrógeno, especialmente si consideramos el agua como la fuente primaria y los océanos como la fuente del agua. Actualmente los intereses económicos han permeado gran cantidad de los patrimonios de la humanidad: las fuentes de agua, la tierra, las fuentes de alimentos de la tierra, de los rios, de los mares, hasta la información y el conocimiento. Ya se vislumbra el interés en apoderarse del patrimonio de la información genética de la biomasa y los productos del conocimiento del genoma humano pronto será patentado.

La red del world-wide-web (www) o Internet se pretendía que fuera completamente libre y accesible a todo el mundo, pero ya sabemos que los intereses comerciales le metieron la mano y es cada día mas restringido el acceso y aumenta el costo de la información. Solamente hasta ahora podríamos considerar como libre la luz solar y el aire, aunque todo el mundo tiene la libertad de contaminar el aire que respiramos con sustancias dañinas, con humo (y los fumadores no tienen vergüenza de echarle el humo en tu cara), de emitir cantidades enormes de gases invernadero como CO<sub>2</sub> a la atmósfera y cambiar el clima del planeta a pesar que nos afecta a todos.

El agua del mar está siendo cercado por la pretención de los países de tener soberanía en las 200 millas desde las costas y propiedad en todas los recursos vivos y minerales de la plataforma continental. Si se logra rescatar el agua de los mares como patrimonio de la humanidad, entonces el recurso estará disponible para toda la humanidad, y como

el proceso de la economía de hidrógeno permite recuperar el agua, o sea el agua es reciclada. Si la fuente eventual de energía primaria es la luz solar, entonces también sería libre para toda la humanidad. Queda entonces que el costo se centra en la tecnología de las celdas a combustible, de las celdas solares o los sistemas catalíticos para la descomposición fotolítica del agua, o de las turbinas de viento que se utilicen para producir el hidrógeno, los sistemas de distribución y almacenaje del hidrógeno y los artefactos como los autos eléctricos con celdas a combustible.

El combustible hidrógeno en sí debería ser libre, así como el aire, y se pagaría solo el costo de su producción en electricidad. Con el incremento en unidades de producción de electricidad y de producción de hidrógeno a nivel local de las residencias, de las comunidades, de los edificios de apartamentos, de las instituciones públicas, de las oficinas, de las empresas, de los comercios, de los centros comerciales y de las fábricas, al tener la propiedad de las unidades, daría mucha independencia a los usuarios. Es necesario establecer Asociaciones de Distribución- Generación (DGA), para organizarse en mini-redes o redes mas amplias que permitan optimizar el uso de los recursos energéticos, compartir y negociar con las redes globales, por ejemplo interconectividad y la venta del excedente de energía. Estas organizaciones deben ser como las Corporaciones de Desarrollo Comunitario (CDC), o las Cooperativas que buscan el bien común y la unión de esfuerzos. Estas organizaciones comunitarias deberían hacer que el acceso a la energía y el desarrollo sean mucho mas universales y verdaderamente democráticos. Los DGA pueden organizar los programas de micro-créditos para financiar las unidades de producción de energía, los programas de entrenamiento para la población, los sistemas de seguridad y mantenimiento de las unidades, organizar la toma de decisiones sobre los programas futuros de ampliación y de diversificación en las comunidades.

En los países en desarrollo las Cooperativas pueden jugar un papel muy importante en la organización de las comunidades en la nueva economía del hidrógeno, especialmente para proteger los intereses de los asociados. Los sistemas públicos de



producción de electricidad, especialmente los de comunidades pequeñas pueden ayudar a organizar a los miembros de grupos en la nueva economía del hidrógeno.

La importancia de tener libre acceso a la energía es una esperanza para remediar la desesperada situación de la gran mayoría de la población mundial. 66% de la población mundial no tiene acceso a la electricidad u otra forma de energía comercial. La población mundial es actualmente de 6,2 billones de habitantes y crecerá a 9 billones en los próximos 50 años, en su mayoría en los países donde se concentra la pobreza. Mas de 100 países, con una población combinada de 1,6 billones de personas han experimentado disminución en sus economías. 89 países tienen hoy un ingreso per cápita menor que hace una década. En Africa, el hogar promedio consume 20% menos que hace 25 años. Un tercio de los 3 billones de trabajadores a nivel mundial actualmente están desempleados o subempleados. En la actualidad, 600 millones de personas no tienen vivienda o su vivienda es insegura.

Para el 2010, 1,4 billones de personas vivirán sin agua potable y sin sanitarios. Solo el 20% de la población mundial que tiene entradas altas consume el 86% de los productos y el 20% de los mas pobres consume menos del 1,3% de la producción económica global. Un estudio de la UNDP (United Nations Development Program) indica que las 358 personas mas ricas del mundo, tienen un capital combinado que excede el ingreso anual total de cerca de la mitad de la población mundial. Estas injusticias no pueden continuar si queremos paz en el mundo. El acceso a la energía y la electricidad puede liberar a la gente de las actividades diarias que solo le permiten sobrevivir. El uso per cápita de la energía en los países en desarrollo es solamente 1/15 del consumo en Estados Unidos. El uso de energía global promedio per cápita de todos los países es solo 1/5 del nivel de Estados Unidos. Para lograr electrificación global en el 2050, se necesita hacerle llegar electricidad a 100 millones adicionales de personas por año. Si estas personas tienen el mismo consumo per cápita que Estados Unidos en 1950, requerirá la creación de 10 millones de megavatios de nueva capacidad global para el 2050. Esta producción debe cumplir con un 50% libre de emisión de carbono al ambiente. Producir esto requerirá de una inversión entre US\$ 100 y US\$150 billones

---

por año. La nueva generación de electricidad en los países en desarrollo requerirá inversiones de US\$1,7 trillones entre 1995 y 2020.

La nueva economía del hidrógeno podría liberar a los países en desarrollo de su dependencia en importaciones de petróleo o sus derivados. Buena parte de la deuda externa de muchos países en desarrollo tiene que ver con el dinero necesario para importar combustible. Para 1985, la deuda externa del Tercer Mundo excedía US\$1 trillón. Para el final de 1999, 47 países con una población combinada de 1,1 billones de personas, debía más de US\$422 billones en deuda externa. En estos países buena parte del producto interno bruto se utiliza para pagar el servicio de la deuda, dejando muy pocos recursos para las necesidades básicas de alimentación, salud, educación y servicios sociales.

Es nuestra decisión el camino que vamos a tomar frente a los retos presentes. Si continuamos con el uso desenfrenado de combustibles fósiles, solo nos espera un cambio climático severo que nos llevará a desastres ecológicos y un caos social. Si organizamos el cambio hacia una sustitución de combustible convencional por energía renovable incorporando energía solar, eólica y eventualmente la economía del hidrógeno, habría alguna esperanza de revertir el camino destructivo ya empezado y dirigir el futuro hacia uno más sustentable y quizás más democrático.

*La situación nacional y local.* Es interesante culminar este capítulo con algunas reflexiones sobre que puede suceder en esta parte del mundo con el cambio climático y el problema de la energía. Venezuela es un país petrolero tropical con un patrimonio de biodiversidad envidiable, con una población joven que puede tener mucho futuro, si logra organizarse y sacarle provecho a sus recursos naturales. En este momento el potencial petrolero y las reservas importantes de gas natural y de crudo no convencional hacen que Venezuela pueda jugar un rol importante en la geopolítica energética mundial. Conforme empiece a escasear el combustible convencional, el país sentirá las presiones como país productor miembro de la OPEC ejercidas por los países consumidores industrializados, principalmente de los Estados Unidos, que por la



cercanía geográfica, considerará que el mercado estadounidense deberá tener prioridad. Venezuela debe mantener su autonomía y negociar con todos los países del mundo para conseguir el mejor precio para vender su combustible y estar en una situación mas ventajosa para negociar. Igualmente existirá una presión para que se aumente su producción al reducirse esta en otras regiones del mundo. Se debe resistir a la tentación de ganancia rápida, y moderar la producción de este material estratégico.

Como el petróleo no sólo sirve como combustible, sino que es fuente de muchos materiales importantes de la vida diaria, se debería preservar una buena parte de esas reservas para esos fines. Esto le dará un alto valor agregado al recurso. Como en el resto del mundo, este recurso al ser no renovable, mas temprano que tarde llegará a su pico de producción y empezará a disminuir a una velocidad que dependerá de la demanda tanto nacional como internacional. Venezuela debe hacer los ajustes para la sustitución de las fuentes de energía convencional por otras fuentes renovables, de manera de establecer cambios sustentables y de conservar las reservas como fuente de materiales y no para consumo interno como combustible.

Con la dinámica futura de aumento en la demanda y disminución de la oferta al materializarse la disminución de las reservas de crudo convencional, el precio del barril del crudo se elevará notablemente. Los ingresos de Venezuela por concepto del petróleo durante este período será muy grande y del uso racional de este ingreso dependerá el futuro del país. El ingreso “extraordinario” del petróleo conviene “sembrarlo” internamente para el desarrollo del país y el bienestar de su población y prepararla para el tipo de futuro sustentable. El ingreso debe utilizarse para propiciar la resolución de los problemas básicos de la población y prepararlo para su autogestión y sobrevivencia en un mundo complicado y conflictivo.

Un aspecto muy importante es aprovechar los ingresos ahora para establecer la infraestructura necesaria para las nuevas fuentes renovables de energía, preferencialmente la fotovoltaica aprovechando la fuente solar amplia a nivel tropical, la eólica aprovechando los vientos y la amplia extensión de costa, ya que muchos

Los sistemas eólicos se pueden montar costa afuera, la hidroeléctrica aprovechando las abundantes fuentes de agua que posee el país y hacerle mantenimiento a los sistemas hidroeléctricos actuales. Otro aspecto de infraestructura que debe completarse o ampliarse aprovechando los ingresos petroleros son los sistemas de transporte masivo como: la red ferroviaria nacional, la red de transporte fluvial incluyendo los puertos marítimos y fluviales, los sistemas de transporte masivo de las ciudades incluyendo los Metros de varias ciudades grandes (Caracas y vecindades; Valencia, Maracaibo, Barquisimeto), el sistema de carreteras nacionales. Dentro de la infraestructura se debe añadir: el sistema nacional de vivienda para la población en general, la infraestructura para la educación a todos los niveles (escuelas básicas, liceos, escuelas técnicas, universidades), la infraestructura del sistema de salud (clínicas, hospitales, centros de salud) y la red de telecomunicación e informática que sea realmente abierta y de la comunidad. El otro aspecto que no se debe descuidar es establecer las bases para las nuevas fuentes de riqueza que reemplacen los combustibles fósiles: la principal es el avance y diversificación de la agricultura, aprovechando los suelos fértiles del país, el clima tropical y la abundancia de agua. Esto permitirá ser autosuficientes en producción alimentaria (productos agrícolas y pecuarios, cría de ganado, productos lácteos, cría de aves, cría de peces, etc.) y producir suficiente para la exportación. La producción de alimentos frente a los cambios climáticos va a ser vital para la humanidad y Venezuela podría tener una posición privilegiada en producción de alimentos.

Otro aspecto son los productos mineros, pero su desarrollo debe ser controlado para reducir el daño ecológico. Venezuela tiene importantes reservas de hierro y aluminio, que seguirán siendo importantes como materiales estratégicos. El otro gran reservorio de incalculable valor y que en el futuro tendrá aún más valor es el gran patrimonio genético de biodiversidad, productos forestales y biodiversidad marina en el Caribe que el país posee y que debe valorar y cuidar como es debido.

A pesar de las ventajas temporales de Venezuela en el área energética, por ser un país tropical los eventos extremos del cambio climático se harán sentir en esta región. El aumento en temperatura promedio del planeta también se sentirán en el trópico,



aunque los cambios relativos serán menores, pero las temperaturas nocturnas serán mayores, especialmente en las zonas internas del continente, como los llanos venezolanos. La temperatura en las costas seguirán siendo altas, pero la brisa marina puede ayudar a soportar el calor.

En la zona del Caribe aumentarán las tormentas tropicales y empezarán a sentirse los efectos de los huracanes del Caribe mucho mas cerca de las costas venezolanas, como recientemente con el Huracán Iván en el período de huracanes (Julio a Octubre 2004) del Caribe. Con el aumento en la temperatura el régimen de lluvias se modificará sustancialmente. Primero que todo la cantidad, intensidad y frecuencia de lluvias será mucho mayor en la época de invierno, produciendo muchas inundaciones, deslaves y avalanchas repentinas de roca, tierra y agua.

La recomendación general es evitar la construcción de viviendas en zonas costeras muy cercanas al mar, igualmente en los cauces y valles de anegación de los ríos grandes, en cañones y cursos de quebradas y riachuelos en zonas montañosas, ya que todas estas construcciones pueden ser lavadas en ocasión de eventos climáticos extremos. Las lluvias ayudarán la agricultura, pero cuando es muy intensa destruirá las cosechas con granizo, vientos huracanados e inundaciones. Otro extremo será en la época de verano, cuando la sequía puede ser muy severa. Esto tendrá repercusión en las tierras de sembradío y en los llanos venezolanos y la cría de ganado.

Es necesario construir toda una red de reservorios para almacenar agua durante el invierno que pueda aliviar la escasez de agua durante la época seca. El aumento de temperatura también se sentirá en las montañas ya que la temperatura promedio será mas alta a mayor altura. Esto se sentirá en la región de los Andes venezolanos. Otra consecuencia importante del cambio climático en el trópico es el aumento en intensidad y cobertura de las enfermedades tropicales que son endémicas, tales como la malaria, el dengue, la fiebre amarilla, el cólera, la tuberculosis, el mal de Chagas, la leishmaniasis, diarreas y enfermedades parasitarias, todo debido al aumento en la proliferación de bacterias y de los insectos vectores y la disminución en la calidad del

---

agua al ocurrir eventos climáticos extremos. Se espera también mucho disturbio en los ecosistemas silvestres tanto de la costa, las llanuras, las selvas y las montañas, causando estragos a las especies nativas, disminuyendo muchas especies y poniendo en peligro de extinción a muchas otras.

En la zona andina cercana a Mérida se esperan también muchos cambios. Debido al aumento en la humedad del aire y a los vientos que llevan esa humedad hacia las montañas, el régimen de lluvias en la época de invierno debe aumentar en intensidad, duración y frecuencia. Se esperan muchos más tormentas eléctricas, lluvias torrenciales y tormentas con vientos muy fuertes. Al caer muchos centímetros de lluvia en tiempos cortos, se esperan crecidas repentinas de los ríos de montaña. Aquí en la ciudad de Mérida existen muchos asentamientos en los cauces de los ríos y quebradas que bajan de la montaña, todas muy vulnerables frente a crecidas súbitas de las corrientes de agua, deslaves y avalanchas de rocas en el momento de eventos climáticos extremos.

Solo reubicando estas viviendas se podrán evitar grandes pérdidas de vidas y propiedad en el futuro. Una manera de evitar los derrumbes y avalanchas es aumentar en forma dramática y urgente la cobertura boscosa de las laderas de montaña con árboles frondosos y arbustos que protejan el suelo. Igualmente habrá que canalizar las corrientes de agua en las zonas cercanas a la ciudad. Durante la época de verano o época seca, se espera sequías más severas y prolongadas que secarán la vegetación y aumentará las probabilidades de grandes incendios forestales. Una manera de reducir esto es establecer todo un sistema muy elaborado de reservorios de agua en las montañas y favorecer los lagos naturales, de manera de proveer de agua al ambiente durante la estación seca, pero es la cobertura densa de bosque la que puede retener suficiente humedad durante todo el año.

Para proteger el microclima en las cercanías de Mérida, se debe comenzar a sembrar y mantener una protección de la vegetación en todos los lugares disponibles de la ciudad y alrededores: parques, avenidas, patios de las casas, laderas de montaña, cauces de los ríos, etc. El problema del transporte y el tráfico de la ciudad tiene que resolverse con



el sistema de transporte masivo, como el Trolley, pero coordinado con el sistema de busetas y autobuses urbanos para movilizar los usuarios hacia y desde la ruta principal del Trolley. Igualmente se debe restringir el ingreso de automóviles privados hacia el centro de la ciudad, y ofrecer como alternativa un sistema de autobuses que solo recorran un circuito en el casco central de la ciudad, además de aumentar las avenidas peatonales.

Esto mejorará el congestionamiento, la contaminación del aire, el ruido y el gasto de gasolina. Toda la zona andina debe irse convirtiendo a otras fuentes de energía renovables. El montaje de sistemas fotovoltaicos es favorable por la cantidad de sol en las montañas altas andinas, fincas o montajes eólicos serían muy favorables en toda la zona del cañon del río Chama por debajo de Ejido, ya que mantienen un flujo de viento muy intenso durante el día. Toda esa zona, que es muy árida, podría mantener un número alto de turbinas de viento, que pueden proveer de electricidad a los desarrollos habitacionales y de pequeñas industrias que crecerán en esa dirección. El problema de los desechos del área de Mérida debe ser enfrentado de manera sistemática integral. La única solución es favorecer el reciclaje, separar la basura en su fuente en los diferentes componentes (metales (aluminio y ferrosos) , plásticos, papeles, y materiales orgánicos), cobrar a los usuarios según la cantidad de basura producida.

La belleza del paisaje, lo benigno del clima de Mérida, y la calidad del aire son atractivos de la ciudad que atrae visitantes y enriquece la calidad de vida de sus habitantes. Pero para mantener estas ventajas y privilegios requiere de la consciencia y del continuo trabajo y protección de todos sus habitantes y turistas. En la medida que todos nos preparemos y nos adaptemos a los cambios que vendrán es la manera de sobrevivir días difíciles y poder remontar la tormenta.

## 5. Bibliografía

1. Gelbspan, Ross, *"The Heat is on- The climate crisis- The cover-up- The prescription"*, Perseus Books, Cambridge, Massachusetts, USA, 1998.
2. Gelbspan, Ross, "Boiling Point", Basic Books, New York, USA, 2004
3. State of the World, 2004, The Worldwatch Institute, Washington, Norton, New York, 2004. Chapter 2, "Making better energy choices", J.L.Sawin.
4. Rees, Martin, "Our Final Hour", Basic Books, New York, 2003.
5. Goodstein, David, "Out of gas. The end of the age of oil", Norton, New York, 2004.
6. Rifkin, Jeremy, "The hydrogen economy", Tarcher/Penguin, New York, 2003.
7. State of the World, 2003, The Worldwatch Institute, Washington, Norton, New York, 2003, Chapter 5 , "Charting a new Energy Future", J. Sawin.
8. B. Fontal, Sergio Fontal, "Problemas de la Energía. Fuentes Alternas. Electroquímica", Taller de Ampliación- II Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química", CELCIEC, 2001.
9. J. Johnson, "Power from the Sun", Chemical and Engineering News, ACS, Washington, June 21, 2004, p.25-32.
10. M . Freemantle, "Nuclear Power for the Future" Chemical and Engineering News, ACS, Washington, September 13, 2004, p.31-35.