



Geoenseñanza

ISSN: 1316-6077

geoense@ula.ve

Universidad de los Andes

Venezuela

Posso, Fausto

Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas

Geoenseñanza, vol. 7, núm. 1-2, 2002, pp. 54-73

Universidad de los Andes

San Cristobal, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070206>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## **ENERGÍA Y AMBIENTE: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. PARTE DOS: SISTEMA ENERGÉTICO BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS**

Fausto Posso<sup>1</sup>

*Universidad de Los Andes-Táchira Venezuela*

### **Resumen**

El continuo y creciente deterioro del ecosistema mundial y el agotamiento a mediano plazo de las reservas de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas; son las principales consecuencias del actual sistema energético mundial. El Sistema se basa en la utilización intensiva de dichas fuentes. Por esta razón es imperativo el desarrollo de fuentes energéticas alternas que sean armónicas ambientalmente, renovables y/o inagotables. Estas fuentes alternativas incluyen la radiación solar directa, la energía solar indirecta (hidráulica, viento, olas, biomasa, térmica de los océanos), la energía geotérmica, la de las mareas y nuclear. La descripción de las características, potencialidades y limitaciones de ellas, son el objeto de este artículo. Asimismo, este análisis considera su factibilidad de desarrollo a gran escala que permita una participación importante a mediano plazo en el mercado energético mundial. Los resultados indican que la eólica, la solar fotovoltaica e hidráulica son las opciones con mayores perspectivas de crecimiento y participación efectiva. Sin embargo, el logro de estas proyecciones depende de un desarrollo tecnológico factible y competitivo, apoyo decidido del Estado basado en políticas de estímulo y respaldo financiero y la instauración de una cultura energética inspirada en el respeto ambiental, ahorro energético y la sustentabilidad.

**Palabras Claves:** Energías Alternativas, Sistemas Energéticos, Energía Solar

### **ENERGY AND ENVIRONMENT: PAST, PRESENT AND FUTURE. PART TWO: ENERGETIC SYSTEM BASED ON ALTERNATIVE ENERGIES**

### **Abstract**

The continuous and growing deterioration of the world ecosystem and the exhaustion of fossil fuels: coal, petroleum and gas medium term reserves, are the main consequences of the current world energetic system. This system is based on the intensive utilization of these resources. So then, it is imperative the development of alternative energetic resources that being harmonic environmentally, renewable and/or interminable. These alternative energies includes the direct solar radiation, solar indirect energy (hydraulic, wind, waves, biomass, thermal of the oceans), geothermal energy, the tides and nuclear. The description of its main characteristics, potentialities and limitations are the aim of this article. Furthermore, this paper considers its feasibility of development in great scale to medium term. Results indicated that the wind, solar, photovoltaic and hydraulic energy are the options with greater perspectives of growth and participation. However, the achievement of these projections depends on a feasible and competitive technological development, a determined support of the State based on politics of stimulus and financial support and the establishment of an energetic culture inspired in the environmental respect, energetic savings and sustainability.

**Keywords:** Alternative Energies, Energetic Systems, Solar Energy

---

<sup>1</sup>E-mail: fausto@tach.ula.ve

### **Introducción**

Históricamente, el desarrollo de la sociedad humana se ha basado en el aprovechamiento de fuentes energéticas primarias de tipo fósil. Producto de su uso indiscriminado se ha generado un deterioro ambiental global que puede llegar a niveles insostenibles si no se toman correctivos oportunos. Evidencias palpables de la degradación del ecosistema mundial son: el calentamiento global, la disminución de la capa de ozono y la lluvia ácida. Existe entonces la necesidad imperiosa de desarrollar otras fuentes energéticas que reemplacen los combustibles fósiles. Así, la segunda mitad del siglo XX ve el resurgimiento por una parte, y el nacimiento por otra, de un conjunto de fuentes energéticas armónicas ambientalmente, renovables y/o inagotables, y sustentables. Entre estas fuentes se incluyen la radiación solar directa, la energía solar indirecta (hidráulica, viento, olas, biomasa, térmica de los océanos), la geotérmica, las mareas y la nuclear. En la actualidad existe una búsqueda incesante de formas de aprovechamiento de éstas energías que sean factibles técnicamente y atractivas económicamente. Este artículo, el segundo de la serie sobre la historia de los sistemas energéticos y sus efectos ambientales, trata sobre estas fuentes alternas de energía, en especial su factibilidad de desarrollo a gran escala que permita una participación importante a mediano plazo en el mercado energético mundial posibilitando así una mejora en la calidad de vida, un desarrollo humano sustentable y evitando el continuo deterioro del ecosistema mundial.

### **Tipos de energía**

Si bien las fuentes de energía puede clasificarse de variadas formas según el criterio usado, la clasificación más amplia de la misma es en renovables y no renovables. Las primeras son aquellas que se consumen a una mayor velocidad de lo que la naturaleza puede reemplazarlas; tal que la cantidad total disponible es cada vez menor y su posibilidad de reposición remota, en esta categoría se ubican las fuentes fósiles. Las segundas, son fuentes que o pueden reponerse al generarse por procesos cíclicos de periodicidad variable (desde horas hasta años) o son inagotables. Se conocen genéricamente como energías alternativas (EA).

### **Energías Alternativas (EA)**

Comprenden todas aquellas energías de origen no fósil y que no han participado significativamente en el mercado mundial de la energía. Se tiende a usar indiscriminadamente los términos renovables, nuevas y no convencionales como sinónimos, no siendo totalmente correcto. Así, el término no convencional no significa necesariamente nuevo, como es el caso de la energía solar, conocida desde hace mucho tiempo. Tampoco se debe confundir el concepto de energía renovable con el de energía no-convencional, pues entre las fuentes energéticas convencionales se encuentran algunas con característica de renovables, como la hidráulica o la bioenergía. Existen además fuentes no renovables y no convencionales como la energía geotérmica o la fusión nuclear. Las energías no agotables, como la eólica, comúnmente se incluyen entre las renovables. De manera que el término alternativo es, quizás, el más adecuado para englobar todas estas opciones energéticas y será el utilizado en este trabajo. (Figura: 1).

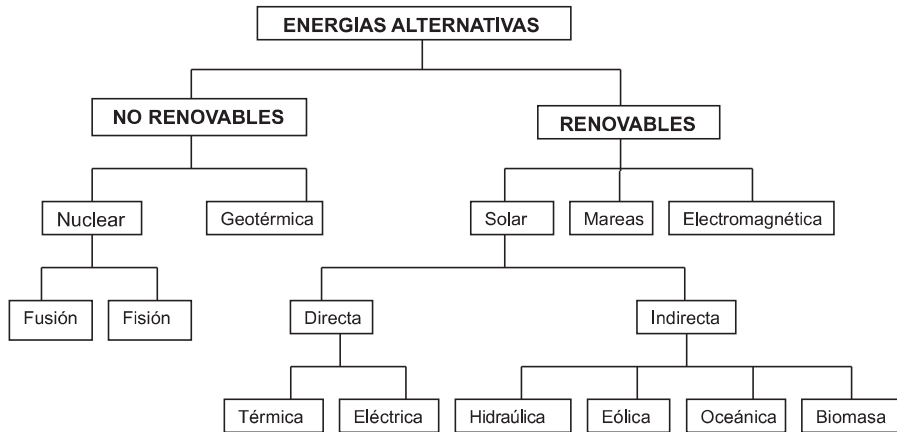


Figura 1. Clasificación de los EA.

La primera crisis de la energía, en la década de los setenta, renovó el interés hacia estas fuentes energéticas relegadas por los combustibles fósiles; luego, en la década de los ochenta, ante las evidencias de un deterioro ambiental generalizado atribuido principalmente a la quema de aquellos, el desarrollo de las alternativas adquirió mayor importancia. Hoy en día, a más de un cuarto de siglo, muchas de las tecnologías de aprovechamiento han madurado y perfeccionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Como resultado, países como Estados Unidos (EE.UU.), Alemania, España e Israel presentan un crecimiento muy acelerado de su uso.

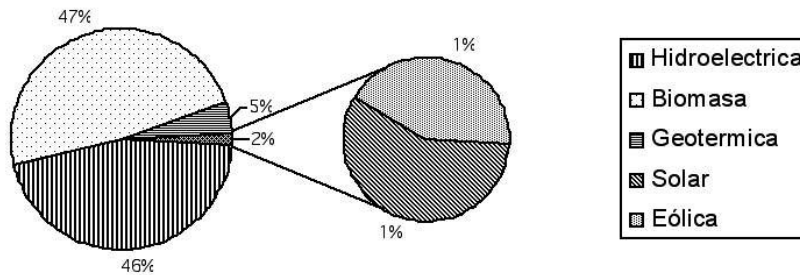
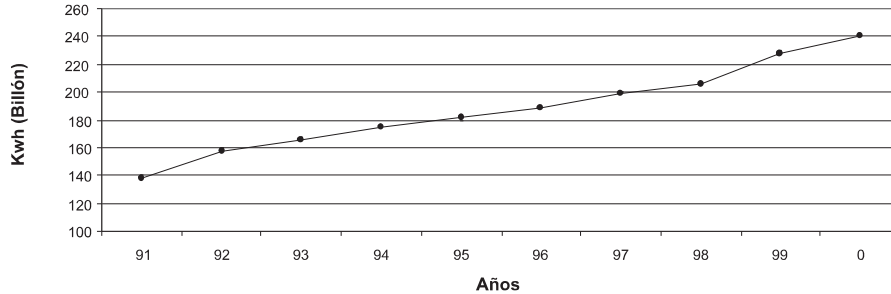


Figura 2. Distribución Porcentual del consumo de las EA por Fuente

Para el año 2000, el consumo energético de éstas fuentes fue igual al 8 % del consumo mundial correspondiente a 32 cuatrillones de BTU. El aporte porcentual de cada tipo de fuente a esta cifra se muestra en la Figura 2. Si bien la participación en el mercado todavía es baja, se espera a mediano plazo un incremento importante, las proyecciones optimistas establecen que las EA podrían suplir el 50 % de la demanda mundial de energía para el año 2050 (Martínez, 2002). Un ejemplo de su creciente participación en el mercado energético está en la producción de energía eléctrica, en el lapso 1991-2000 se ha dado un aumento del 74 % en la potencia eléctrica generada a partir de las energías geotérmica, eólica, solar y biomasa; del 22 % para la nuclear y del 20 % para la hidroeléctrica (IEA,

2001). La Figura 3 muestra esta situación para las cuatro primeras.



**Figura 3.** Producción de Energía Eléctrica a partir de EA

En cuanto a su uso, este tiene motivaciones diferentes; así, para la mayoría de los países desarrollados, esta obedece a: 1. Su necesidad de disponer de fuentes energéticas seguras en contraposición a los combustibles fósiles, sumamente sensibles a perturbaciones geopolíticas; 2. La creciente conciencia colectiva sobre los nocivos efectos ambientales del actual sistema energético, con la consecuente presión sobre los gobernantes e industrias; y 3. El propósito de alcanzar la independencia energética. Mientras que para los países subdesarrollados las EA se están convirtiendo en la única opción factible para la satisfacción de sus necesidades energéticas; así, en vastas regiones rurales de América Latina, Asia y África están presentes celdas fotovoltaicas, biodigestores, aerogeneradores, y otros dispositivos asociados con la conversión energética de las alternativas.

El impacto de las EA es de diferente naturaleza: a. Ambiental, se estima que si para el año 2010 se logra que el 15 % de la demanda proyectada de energía en la Unión Europea provenga de aquellas se evitaría la emisión a la atmósfera de 402 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (García, 2002); b. Financiera, la industria eólica alcanzó una cifra mundial de negocios de 1,7 billones de euros en 1998 y el Banco Mundial predice que el mercado global de electricidad solar alcanzará los \$ 4 trillones en 30 años (García, 2002); c. Estratégica, se estima que EE.UU. podría producir 190 billones de galones por año de etanol usando sus fuentes de biomasa, reemplazando de esta manera la gasolina; d. Social, el ritmo de creación de empleo de las alternativas es cinco veces superior al de las convencionales y su utilización masiva implica la participación activa de la comunidad propiciando de esta manera el desarrollo regional y la preservación cultural. A continuación las principales características de cada una de las EA.

### **Energía Solar**

Con las excepciones de la energía nuclear, geotérmica y mareas, todas las formas de energía usadas en la tierra se originan a partir de la energía del sol, siendo ésta el resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en su interior. De toda la energía producida, nuestro planeta recibe menos de una millonésima parte; sin embargo, es una cantidad enorme en proporción al tamaño de nuestro planeta y a los requerimientos de energía, basta decir que la energía diaria proporcionada por el sol a la Tierra es aproximadamente igual al consumo mundial de energía en 27 años. Al llegar esta energía a la superficie terrestre se puede transformar en calor útil, electricidad, o usarse para producir un

combustible. Todo esto demuestra su poder.

### **Tecnologías de Conversión Solar**

Las tecnologías solares se han usado en todas las épocas y en cada rincón del mundo siendo sus referencias más antiguas los espejos metálicos usados en la defensa de Siracusa por Arquímedes en la Antigua Grecia y los tratados de Anthemius de Tralles en el siglo VI, (Cassedy, 2000). La invención y desarrollo de las tecnologías solares modernas datan de hace 40 años, actualmente existen varias suficientemente probadas y ya en fase de comercialización para proporcionar servicios energéticos a viviendas individuales, conjuntos habitacionales, grandes complejos industriales y comerciales, e incluso toda una ciudad.

Existen cinco tecnologías fundamentales: calentamiento de agua doméstica, obtención de vapor (para generación eléctrica o uso industrial), calentamiento espacial activo, calentamiento espacial pasivo, y conversión directa: energía solar/electricidad. Las tres primeras involucran el uso de colectores térmicos, que comprenden desde colectores planos para calentamiento de agua hasta parabólicos para generación de vapor. Por lo contrario, el calentamiento pasivo es más bien materia de diseño arquitectónico y en la conversión directa en celdas fotovoltaicas, no es necesario ningún esquema colector de calor. Finalmente, combustibles alternativos como el hidrógeno se pueden obtener a partir de reacciones químicas manejadas por luz solar o por electrólisis en celdas de combustible.

Todas estas tecnologías están en diferentes fases de desarrollo, se describirán las tres que han tenido mayor impacto y expectativas de crecimiento:

#### **• Colectores Solares Planos:**

Son dispositivos que se calientan al ser expuestos a la radiación solar y que transmiten el calor al fluido de trabajo (normalmente agua), su ubicación en los techos de casas y/o edificios es la imagen más común de la tecnología solar. Su construcción y operación es bastante simple, suficientemente probada y con un gran potencial de aplicación en todo el mundo. Se destaca Israel, donde se usa la energía solar para calentamiento de agua desde hace más de 50 años y donde a partir de 1980, se hizo obligatoria su instalación en toda construcción residencial nueva (Cassedy, 2000). Hoy en día esta tecnología experimenta un fuerte crecimiento en todo el mundo, siendo Japón el líder mundial con un crecimiento del 68 % en año 2000 con respecto al año 1999; para el mismo año, en EE. UU. existían en operación 2 millones de sistemas colectores y en la Unión Europea se crearon más de un millón de m<sup>2</sup> de nuevas instalaciones que permiten abastecer de agua caliente a cerca de 20 millones de personas. En el futuro cercano, Alemania el líder mundial en instalaciones aspira a tener una capacidad total de 17 millones de m<sup>2</sup> para el año 2005 (Era Solar, 2001).

#### **• Electricidad Solar Directa.**

La conversión directa de luz solar a electricidad tiene lugar en las llamadas celdas solares fotovoltaicas, FV. Estas son láminas semiconductoras fabricadas principalmente de silicio (el segundo elemento más abundante en la Tierra) con cantidades relativamente pequeñas de ciertos materiales cuyas propiedades eléctricas únicas hacen que en presencia de luz solar se produzca una corriente eléctrica continua. Este efecto, llamado efecto fotovoltaico, fue descubierto por Becquerel en 1839, aunque su primera aplicación práctica no se

produce sino hasta 1930. En los últimos treinta años, los avances en semiconductores han permitido mejoras continuas en el diseño y operación de las FV, manifestándose en un incremento exponencial de su producción, medida en términos de su generación eléctrica (Ver Figura 4). Hoy las FV se utilizan en más de 500.000 hogares que no están interconectados a una red eléctrica, la mayoría de ellos en el mundo desarrollado.

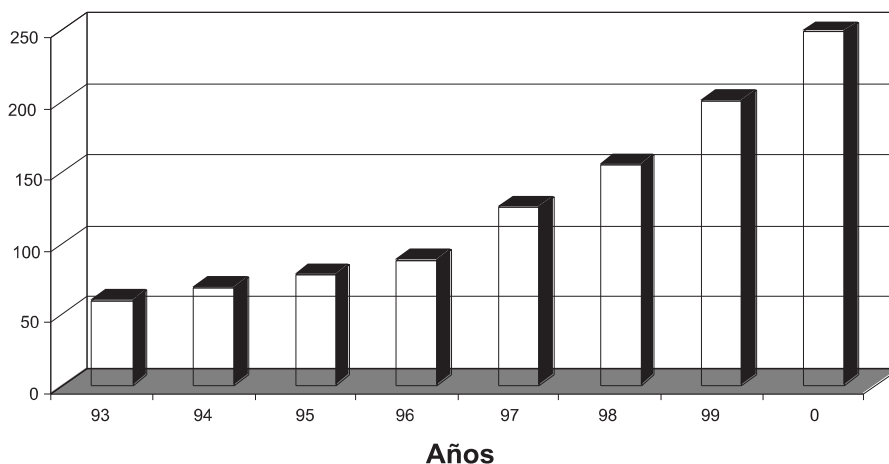


Figura 4. Evolución de la Producción de Celdas FV (MWp)

Si bien la cantidad de energía eléctrica producida no es altamente significativa en comparación con la demanda mundial, esta tecnología ha tenido un gran impacto en nuestras vidas por su capacidad de generar electricidad en todo sitio que brille el sol. Así, las FV generan la potencia para activar los satélites espaciales, sin los cuales la televisión por cable, la telefonía celular o las exploraciones espaciales pertenecerían al mundo de la ciencia ficción. También se usan en otros aparatos domésticos, como calculadoras, relojes y radios. Pero además se está convirtiendo en una de las principales opciones para satisfacer de electricidad a vastas áreas rurales de América Latina, Asia y África, donde se tengan niveles de insolación aceptables (2.300 Kwh/m<sup>2</sup>año y donde la red eléctrica comercial no puede llegar en el corto o mediano plazo (o no llegar nunca)<sup>2</sup>. Estos programas se conocen genéricamente como Proyectos de Electrificación Rural a partir de Energías Renovables (PERER). En este contexto, el año pasado British Petroleum inició en Filipinas el proyecto de energía solar más grande del mundo con una inversión de 48 millones de dólares, con este proyecto más de 150 pequeñas comunidades rurales recibirán electricidad por primera vez. Se trata no sólo de suministrar luz eléctrica en hogares, sino también en escuelas, hospitales y alumbrado público, además de sistemas de irrigación y servicio de agua potable (Guerra y Bravo, 2001), Costa Rica, México, Ghana también adelantan proyectos PERER de envergadura.

#### • Celdas de Combustible (CC)

Son dispositivos electroquímicos en los que la energía química almacenada en un

<sup>2</sup>Para el año 2000, más de 2000 millones de personas se ubican en esta situación

combustible se transforma directamente en electricidad mediante reacciones de óxido-reducción. A diferencia de las baterías, una CC no se agota ni requiere recarga, producirá electricidad y calor mientras se le provea de combustible generando como único subproducto agua pura. Las CC fueron inventadas por William Grove en 1839, con razón se dice que es un método de generar potencia 40 años más viejo que los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles, la tecnología actual data de 1932. Existen diferentes tipos de celdas, según la temperatura de operación, los materiales usados en su fabricación y su uso final. Sus ventajas más destacables son:

- Altas eficiencias ya que no existen las limitaciones termodinámicas del ciclo de Carnot
- Bajas emisiones de contaminantes
- Componentes de larga duración y bajos costos de mantenimiento

Las CC tienen un gran potencial de aplicación en el transporte terrestre, tal que las compañías automotrices realizan importantes desarrollos para colocar en el mercado vehículos movidos por hidrógeno y CC. En el transporte urbano, seis autobuses de Daimler-Benz y Ballard, los NEBUS, han operado con éxito por más de tres años en Chicago y Vancouver bajo condiciones reales y alcanzando velocidades de hasta 100 Km/h. Un proyecto de la Union Europea (UE) tiene previsto para el año 2003 la incorporación de una flota de autobuses de transporte público para Madrid, Barcelona, Amsterdam, Hamburgo, Londres y otras cuatro ciudades, de los resultados de esta prueba piloto dependerá su utilización intensiva posterior (Dunn, 2002).

También se han desarrollado vehículos de pasajeros por empresas como Daimler-Chrysler, con un margen de recorrido de 400 Km y una velocidad de hasta 128 Km/h, previéndose la comercialización de 40.000 de estos vehículos a partir del 2004. Toyota, BMW y Delphi son otras empresas que estiman la comercialización masiva de sus versiones a partir del período 2006-2008. Sin duda alguna su utilización a gran escala será el primer paso en la transición hacia otros modelos energéticos, con todas las implicaciones económicas y políticas que esto representa.

Además, las CC son altamente ventajosas en la producción combinada de potencia y calor para aplicaciones estacionarias -residenciales, industriales y comerciales- a gran escala. También como baterías portátiles y sensores, Los desarrollos se orientan hacia obtener CC comercialmente competitivas buscando el aumento de potencia (mayor eficiencia), la disminución de costos y de peso.

#### **Limitaciones de la Tecnología Solar**

El problema con la tecnología solar no es, como a veces se afirma, una área terrestre insuficiente para recolectar toda la energía necesaria para la sociedad, el mundo la tiene; por ejemplo, con cerca del 0,5 % del área superficial de la tierra se pueden satisfacer las necesidades energéticas mundiales para un año. El problema es su costo, intermitencia y baja eficiencia. Estas deficiencias se están tratando de superar, así para el caso de los colectores solares, las innovaciones tecnológicas se orientan a alcanzar bajos costos de producción y proveer almacenamiento de energía contra la intermitencia. Sin embargo, ésta tecnología aún no es competitiva con las fuentes fósiles, un sistema de calentamiento solar tiene un costo de \$ 17/MBTU, bastante lejos de los \$ 9/MBTU para el petróleo o \$



6,60/MBTU para el gas natural (Era Solar, 2001).

En cuanto a las FV, en la actualidad se están desarrollando sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica por lo que la energía se usa de inmediato por el propio usuario que la genera, con la posibilidad de vender los excedentes de electricidad a las compañías generadoras, de ésta manera se evita el uso de baterías para el almacenamiento nocturno bajando así los costos. Su baja eficiencia<sup>3</sup> implica la necesidad de grandes arreglos que, a su vez, implican altos costos. Sin embargo, ciertas investigaciones (Komersky, 1997) indican la posibilidad de alcanzar eficiencias entre 20% y 30% en FV especiales. Además, las mejoras en materiales y diseño han permitido un descenso pronunciado y sostenido en los precios de los módulos FV (Ver Figura 5).

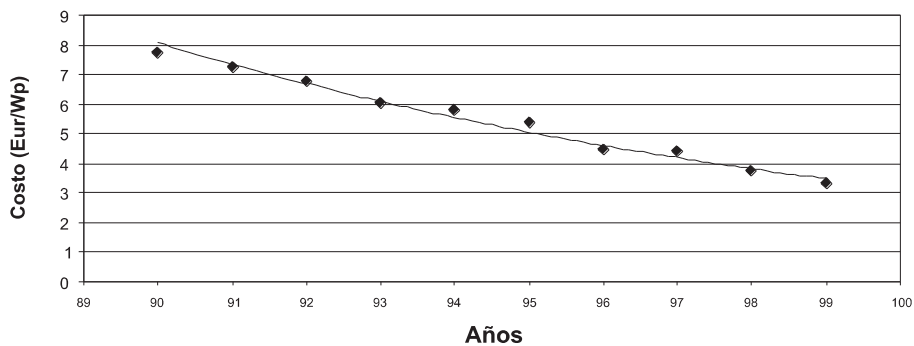


Figura 5. Evolución del Precio Promedio de los Módulos FV

En Japón, el gobierno junto con el sector privado planea construir 70.000 hogares con tejas de silicio que les proveerá de la mayor parte de sus necesidades de energía eléctrica y planes similares se piensan llevar a cabo en los EE.UU. y países europeos. Las estimaciones de crecimiento son de grandes proporciones, Green Peace y la Asociación Europea de Industria Fotovoltaica estiman que para el 2020, la energía solar podría proporcionar electricidad a más de mil millones de personas, creando dos millones de empleos, reemplazando la energía producida por 75 centrales térmicas de carbón y evitando la emisión de 664 millones de toneladas de dióxido de carbono. La infraestructura solar tendría un valor de inversión de 75 millardos de dólares al año y bajaría el costo de los módulos solares a 1 dólar por vatio-pico (British Petroleum, 2001). Sin embargo, para alcanzar estos niveles se requieren cambios profundos en la infraestructura energética. Sin duda, este tipo de energía es el epitome de la energía sustentable, limpia e inagotable y a la cual apuestan la mayoría de investigaciones sobre el sistema energético del futuro.

### Energía de Biomasa

En sentido amplio el término biomasa se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato en un proceso biológico y es, en última instancia, energía solar transformada por fotosíntesis. La madera, los deshechos de agricultura y el estiércol

<sup>3</sup>15 % de conversión de luz a electricidad, por lo que un metro cuadrado puede proveer 150 watts, potencia suficiente para operar un televisor mediano

animal se ubican en esta categoría. Su uso es de vieja data, la leña fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre para satisfacer sus necesidades domésticas y todavía es una fuente importante en muchos países subdesarrollados.

A partir de los años sesenta se ha experimentado un progreso tecnológico extraordinario en el uso de esta fuente energética. Además, según el concepto ecológico moderno, a las fuentes forestales se las considera como renovables, no sólo por su reemplazo sino por su beneficio al ambiente, ya que tienen la propiedad de reducir grandemente las emisiones de gases de invernadero o incluso establecer un balance ideal (Ver Figura 6).

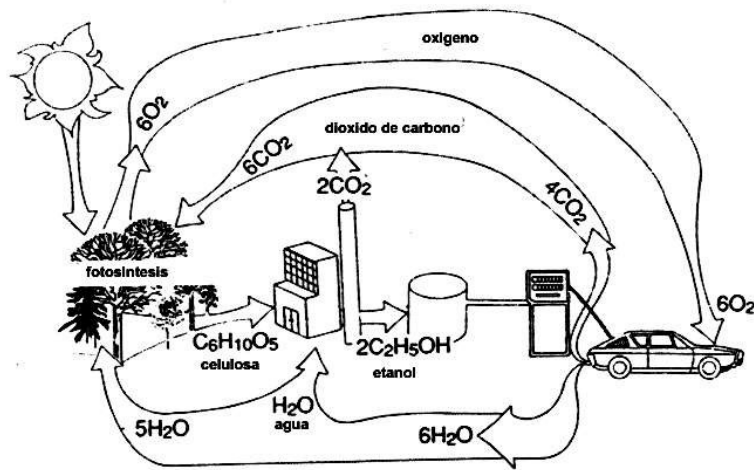


Figura 6. El Ciclo del Carbón y la Bioenergía

### Procesos de Conversión

Las aplicaciones más importantes de la bioenergía son: producción de calor, electricidad y combustibles. Los procesos de conversión de la biomasa para estos fines son básicamente de dos tipos: bioquímicos y termoquímicos.

• *Producción Bioquímica*: los procesos asociados se basan en la descomposición de la biomasa mediante microorganismos en presencia o ausencia de oxígeno, y comprende principalmente la producción de combustibles líquidos –etanol- por fermentación. La selección del etanol se debe a su habilidad para sustituir a la gasolina o servir como componente oxigenante de la gasolina y antidetonante. La caña de azúcar, el sorgo dulce, las frutas y la remolacha son los cultivos más fácilmente convertibles en etanol. En cuanto a los combustibles gaseosos se generan por digestión anaeróbica, el metano es el principal producto obteniéndose además lodos residuales mejoradores de suelos o fertilizantes. Un típico digestor artesanal es bastante simple y puede producir diariamente un volumen de gas aproximadamente igual al volumen del digestor, típicamente de 50 m<sup>3</sup>, y que puede suplir las necesidades de una familia de tamaño medio. También en rellenos sanitarios con una gran proporción de desechos orgánicos húmedos y donde proliferan las bacterias anaerobias se produce biogas. Por ejemplo, en la Ciudad de México, un relleno sanitario

con 5.6 millones de ton. de residuos sólidos produce suficiente biogás para alimentar una planta de 5 MW de capacidad durante 10 años.

• *Producción Termoquímica*: sus procesos se basan en la descomposición de la biomasa mediante calor e incluyen la combustión directa, la pirólisis y la gasificación. Según las condiciones de operación se obtienen diferentes proporciones de producto sólido, líquido o gaseoso:

- *Pirólisis*: es la degradación térmica del material orgánico en ausencia de oxígeno a temperaturas superiores a los 600 °C. En especial, madera y residuos forestales pueden procesarse para producir combustibles gaseosos y líquidos y también carbón vegetal, un biocombustible sólido.
- *Combustión*: es el sistema más elemental y antiguo de recuperación energética, el calor generado se utiliza tanto en instalaciones domésticas como industriales. El biocombustible sólido más común es la leña, también los residuos de las cosechas de granos, pajas de trigo, arroz y maíz, se pueden aprovechar para hacer funcionar pequeñas centrales eléctricas. La eficiencia térmica del proceso es baja, oscilando entre el 20% y 22 %.
- *Gasificación*: consiste en una combustión incompleta de la que se obtiene principalmente un gas combustible con un poder calorífico variable y que actúa como portador de energía

### **Tipos de Biomasa**

*Biomasa natural*: es la que se produce espontáneamente en la naturaleza, tales como bosques, matorrales, herbazales, etc. No es la más adecuada para un aprovechamiento energético masivo ya que puede causar una rápida degradación de los ecosistemas naturales.

*Biomasa residual*: es la procedente de actividades agrícolas, ganaderas y forestales. Su utilización ofrece en principio perspectivas atractivas aunque limitadas, siendo en general más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía generada. En un ámbito local, las instalaciones como granjas, industrias papeleras y depuradoras urbanas pueden llegar a ser autosuficientes energéticamente mediante aprovechamiento de sus propios residuos.

*Biomasa de plantaciones energéticas*. Los cultivos energéticos son ya una realidad en países como Brasil y Estados Unidos que enfocan la producción de caña de azúcar y maíz, respectivamente, a la obtención de etanol. En el primero, el etanol se utiliza desde 1980 con una producción anual que excede los dos billones de litros y con una eficiencia cercana al 85 %; además Brasil tiene cerca de tres millones de Ha. de plantaciones de eucaliptos destinados a la fabricación de carbón vegetal. Si bien hasta ahora el principal incremento en la utilización de la biomasa como fuente de energía se ha basado en la biomasa residual, son los cultivos energéticos los considerados como la alternativa más adecuada y competitiva.

### **Potenciales de Biomasa**

Con un estimado de 14.000 MW de capacidad mundial instalada, la biomasa es la mayor fuente de potencia para generación de energía eléctrica con EA después de la hidroeléctrica. Estados Unidos es el más grande generador con 7.000 MW instalados. Las expectativas de crecimiento de la generación en el mundo es alcanzar más de 30.000 MW para el año 2020, China y la India preveen instalar sistemas con biomasa de manera masiva, las estimaciones muestran que para el 2015, China deberá tener 4.000 MW instalados y la

India, 1.500 MW. Esto representa un crecimiento extraordinario de su capacidad instalada actual de 154 MW y 59 MW respectivamente. Otros países con un promisorio crecimiento de la bioenergía son Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia (Carrasco, 1998).

No obstante, para que éstas aspiraciones prosperen será preciso además de políticas de incentivo adecuadas, un avance en el conocimiento de la biomasa como combustible así como un importante desarrollo de las tecnologías de conversión para la actualización de los procesos, casi ancestrales, para hacerlos factibles, competitivos y eficientes.

### Energía Hidráulica

El agua de los ríos y corrientes en su retorno a los mares y océanos como parte del Ciclo Hidrológico es el origen de la energía hidráulica, considerándose ésta como la fuente renovable por excelencia y, quizás, la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Su uso se fundamenta en la conversión de la energía cinética y potencial; la primera se ha utilizado desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como molienda de granos, aserraderos o simplemente como fuerza mecánica, los sitios donde estas fuentes de potencia mecánica estaban disponibles determinaban la localización de los molinos y posteriormente las factorías e industrias en la edad antigua y aún moderna. En la segunda, la energía se deposita en forma potencial en embalses y se transforma en energía aprovechable al desplazarse hacia niveles inferiores. La invención del generador eléctrico y la turbina hidráulica a finales del siglo XIX proveyeron de los medios para la generación de electricidad a partir de energía hidráulica. Por ejemplo, para lograr una capacidad de 3.000 kW, suficiente para satisfacer a 1.000 apartamentos, se requiere una caída de agua de 100 metros con un caudal de 3 m<sup>3</sup>/seg. Esto se logra ampliamente en cualquier zona montañosa del planeta con un régimen regular de lluvias. Las características más relevantes de esta fuente son:

1. Está ampliamente distribuida en el mundo. Existen potenciales en cerca de 150 países y aproximadamente, dos tercios de su potencial económicamente factible permanece sin desarrollar y se ubica mayoritariamente en los países en desarrollo donde su capacidad de generación es más urgentemente requerida (Ver Figura 7).

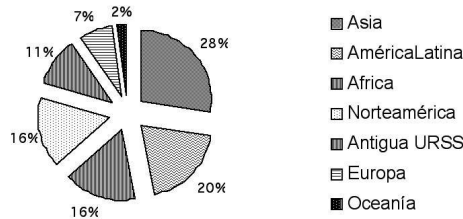


Figura 7. Distribución del Potencial Hidroeléctrico Mundial

2. Es una tecnología madura, con más de una centuria de experiencia
3. Cuando se compara con otras opciones de generación a gran escala, tiene los costos de operación más bajos y los más largos ciclos de vida, así como también una contaminación atmosférica mínima

4. El "combustible" (agua) es renovable y no está sujeto a fluctuaciones en las condiciones del mercado.
5. Puede representar la independencia energética de muchos países. Así, la hidroeléctrica es la mayor fuente de electricidad en Canadá y Austria por encima del 60 % de la capacidad total, Brasil con cerca del 90 % y Noruega y Zambia cercanos al 100 %.

Mientras que las innovaciones en las tecnologías de generadores no son vitales para nuevas explotaciones de la energía hidráulica, los medios de transmisión eléctrica si lo son ya que los sitios hidro potencialmente explotables están típicamente localizados en regiones remotas a los sitios urbanos e industriales de alto consumo eléctrico, por lo que los costos de inversión en transmisión son determinantes para la viabilidad económica de un proyecto hidro. En cuanto a su impacto ambiental, su efecto adverso tiene que ver con grandes proyectos (potencia del orden de los GW) ya que implican obras civiles y embalses artificiales de gran escala que alteran y/o transforman irreversiblemente el medio ambiente; mientras que en pequeños proyectos el impacto es mucho menor. De manera que la tendencia es hacia el desarrollo de centrales eléctricas pequeñas.

#### **MiniHidráulica**

En ésta categoría se incluyen las micro y mini, con potenciales menores a 100 KW y 1 MW, respectivamente. A la fecha existen cerca de 35.000 MW de capacidad instalada en pequeñas centrales, China aporta el 43 % de ese total, seguida de Japón y EE.UU; de los países latinoamericanos, Brasil se encuentra a la cabeza con 950 MW y en el octavo lugar mundial. Las minicentrales hidroeléctricas integradas en esquemas multipropósitos permiten la realización de otras actividades importantes para el desarrollo de una región o lugar, tales como irrigación, acueductos, mejoras en la navegación, prevención de inundaciones y aspectos recreacionales. Se están desarrollando programas de promoción de la minihidráulica, en especial en países con poblaciones rurales no electrificadas. Esto se hace notable en la India, Nepal e Indonesia, Ghana.

#### **Potencial de Desarrollo**

Actualmente, el uso de la hidroelectricidad es ya significativo, con cerca del 10 % de la producción mundial de energía y un quinto de las necesidades eléctricas del mundo. Existe una capacidad instalada de 700 GW y 150 GW en construcción. El potencial hidro técnicamente factible es de cerca de 14.400 TWh/año, de los cuales un 60 % es considerado económicamente factible. El desarrollo de este potencial podría, en principio, cubrir el crecimiento de la demanda futura y jugar un rol importante en el mejoramiento del estándar de vida en el mundo en desarrollo además de hacer una sustancial contribución a evitar las emisiones de gases invernadero. Es claro entonces que la hidropotencia juega un rol importante en el futuro, tanto en términos del suministro de energía y desarrollo de las fuentes de agua como en el desarrollo integral de la sociedad (Hammond, 2000).

#### **Energía de los Océanos**

Atraídos constantemente por la Luna y calentados por las corrientes térmicas, los océanos son un reservorio de grandes cantidades de energía generada, sobre todo, a partir de los vientos que barren su superficie. La idea de cómo aprovecharla ha intrigado al hombre por centurias, tal que existen una gran cantidad de propuestas relacionadas con el potencial energético marino y sus posibilidades de explotación; por ejemplo, en el Reino Unido hay

más de 50 empresas que trabajan en la producción de energía a partir del mar.

### **Formas energéticas marinas**

#### **Energía de las olas**

Las olas son causadas principalmente por la atracción gravitacional del sol y la luna sobre los océanos, el movimiento relativo de estos cuerpos causa que la superficie de los océanos se eleve y deprime periódicamente. Por regla general se puede explotar cualquier costa con una "cuota" de mar de más de 400 km; sin embargo, la mayor energía se produce en las costas situadas entre 30° y 60° de latitud norte y sur; así, una ola del Mar del Norte de sólo 1 metro de altura produce energía suficiente para alimentar 50 calentadores eléctricos. En efecto, la energía de las olas es susceptible de convertirse en movimiento mecánico útil o presión hidráulica, que puede usarse directamente o para activar un generador eléctrico. Si se pudiese almacenar toda esa energía, el mar produciría 2.000 millones de kW/h, el equivalente al doble de electricidad producida en las centrales nucleares y térmicas.

Sin embargo, la energía de las olas tiene un uso bastante limitado, probablemente el más difundido sea las boyas de navegación, donde se aplica el principio hidráulico del sistema cilindro/pistón. Actualmente, existen miles de estas boyas en operación, sin embargo su costo es competitivo si y solo si es igual o menor a \$ 0.10/KWh y la densidad de potencia promedio anual es de 50 KW/m. Desde hace 200 años se han desarrollado más de 1000 patentes para dispositivos olas/océano y las investigaciones básicas se han concentrado en el uso de barreras para crear impedimentos artificiales con el fin de controlar el flujo de las olas. Se destacan pocos países como Gran Bretaña, Portugal, Japón, USA y los países escandinavos (Cavanagh, 1993). Mucho se debe aprender acerca del diseño de instalaciones y los impactos de costos, ya que la utilización de la energía de olas solamente podría ser económica donde la fuente sea abundante; es decir, en sitios donde la energía se concentre en la forma de grandes ondas y que la geografía provea sitios adecuados para la construcción de plantas.

#### **Energía de las Mareas**

A partir de los movimientos cíclicos de elevación y caída de las olas es posible generar potencia eléctrica. En este caso, las plantas de potencia funcionan bajo el mismo principio hidráulico de las plantas hidroeléctricas ordinarias, es decir diferencia del nivel de agua. Las plantas operan sincronizadamente con el período de las mareas, por lo que la generación tiene lugar sólo en periodos entre 8 y 10 horas. Hay solo unas cuantas plantas de generación mareomotriz operando actualmente, la más grande está localizada en La Racine River en Francia donde existe una elevación promedio de las olas de 7 m. Tiene una potencia instalada de 240 GW y está conectada a la red desde 1966, la central tiene unas turbinas situadas en túneles de hormigón bajo el nivel del agua. El agua que entra y sale del estuario pasa por estos túneles, con lo cual accionan las turbinas que, a su vez, mueven los generadores eléctricos. También se puede mencionar la central de Kislaya, en la antigua URSS y la Seven-Barrage en Inglaterra (Wardle, 1992).

Los posibles impactos ambientales son contrarios, por una parte es una energía renovable y no contaminante y por otra, la construcción masiva de barreras y estructuras civiles asociadas con la producción de energía pueden perturbar el tráfico de botes, barcos pesqueros, y posiblemente el hábitat de aves marinas.

### **Energía Térmica de los Océanos**

Los océanos almacenan una enorme cantidad de energía en forma de calor ya que alrededor de 1/4 de la radiación solar que llega a la tierra es absorbida por ellos. Si este calor pudiese ser utilizado de alguna manera, sería una fuente superabundante de energía casi como la radiación solar misma. Sin embargo, existen varias dificultades: primero, la fuente se encuentra dispersa en vastas áreas y la operación de cualquier tecnología de conversión energética en todas las estaciones y estados del tiempo debe incorporar innovaciones importantes. Segundo, se deben tomar muy en cuenta las limitaciones impuestas por la termodinámica clásica en cuanto a las diferencias de temperatura entre las fuentes; mientras que estas diferencias en plantas de potencia convencionales que usan combustibles fósiles son de varios cientos de grados, en el caso de las plantas térmicas oceánicas es mucho menor. Así, las plantas de Conversión de Energía Térmica Oceánica, (OTEC, siglas en inglés) deben funcionar con diferencias de cerca de 20° C y aún magnitudes de este orden se consiguen sólo en aguas tropicales; en consecuencia, la eficiencia de la conversión de energía es del orden del 5%, bastante baja en comparación con el 35% de plantas de potencia convencionales (Sanders, 1991). Las plantas OTEC tienen a su favor que son una fuente de potencia disponible día y noche y con modestas variaciones de invierno a verano, es ambientalmente benigna y algunas plantas OTEC pueden resultar en una absorción neta de CO<sub>2</sub>.

Programas de I&D se están llevando a cabo en varios países, tales como Francia, Gran Bretaña, India, Japón y USA, sus resultados sugieren una instalación de 1.000 plantas OTEC a partir del año 2010 buscando satisfacer la demanda para la región Asia/Pacífico estimada en 20 GW en el 2020 y 50 GW en el 2050. Sin embargo, la realización de estos proyectos depende del éxito de las plantas prototipo actualmente en evaluación. Por todo esto, la de energía de los océanos no parece tener el potencial para ejercer un fuerte impacto sobre el mercado mundial de la energía y puede tener cierta importancia en áreas locales si existen fuertes desarrollos tecnológicos y reducción en los costos.

### **Energía Geotérmica**

La energía geotérmica no es más que el calor natural de la tierra y derivada del vapor o agua caliente subterránea producto de los acuíferos y/o intrusiones del magma caliente cerca de la superficie. Condiciones favorables para su desarrollo sólo se dan en ciertas regiones de la tierra donde los movimientos tectónicos en recientes tiempos geológicos (alrededor de 25 millones de años), han permitido intrusiones del magma en la corteza terrestre; es decir, en regiones donde hay o hubo actividad volcánica. En EE.UU., estos sitios se ubican en las inmediaciones de la falla paralela a la costa del Pacífico, también en Alaska y Hawai. En el resto del mundo, además de Islandia, es probable su desarrollo a lo largo de la costa del Pacífico en Sur América y en un línea de oeste a este desde el Mediterráneo cruzando el Medio Oriente hacia Asia. Si bien los baños termales se usaban ya en la antigua Roma con fines terapéuticos, las tecnologías de energía geotérmica no empezaron sino hasta el siglo 20 (Howes, 1991). La primera producción de electricidad a partir de vapor geotérmico se hizo en Italia en el año 1904. Se distinguen básicamente dos tipos de usos:

#### **1. Generación de Electricidad**

Para esta aplicación, el fluido con una temperatura superior a los 150 °C se extrae de los reservorios subterráneos y eleva a la superficie a través de pozos de producción. Algunos

reservorios producen vapor directamente, mientras que la mayoría produce agua en forma líquida de la cual el vapor se separa y alimenta a turbinas conectadas a un generador. El tamaño de estas plantas varía entre 0,1 a 150 MW.

El más grande complejo de plantas, Los Geysers, está ubicado al norte de San Francisco, EE.UU., la producción de estas plantas ha caído en los años recientes debido al agotamiento del acuífero que alimenta los manantiales. Esto ilustra la naturaleza perecedera de esta fuente y su incapacidad de auto-renovarse a la misma velocidad a la cual está siendo explotada. Sin embargo, este declinamiento ha sido parcialmente compensado con importantes adiciones de capacidad en varios países.

Para el año 2000 se estima en 19 GW la capacidad total mundial (Palmerini, 1993), seis países son dominantes: EE.UU., Filipinas, México, Italia, Indonesia y Japón; con el 86 % de la capacidad y de producción mundial, cercana a los 45.000 GWh. En total 22 naciones están generando electricidad geotérmica en cantidades suficientes para suministrar energía a 15 millones de viviendas. Apoyado por un sólido mercado doméstico, Japón es líder mundial de la industria geotérmica, las firmas japonesas abarcan cerca del 70 % del mercado mundial, cuya cifra de negocios se estima entre 1300 y 1600 millones de euros.

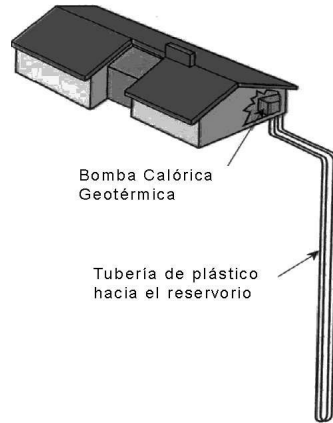
Entre 1996 y el 2000 se ha dado un incremento del 8 % en la capacidad de plantas de potencia y del 23% en la utilización; sin embargo, este crecimiento es más lento que en la década pasada. El uso total mundial de potencia geotérmica equivale a un ahorro de energía de alrededor de 26 millones de toneladas de petróleo por año y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 80 millones de toneladas/año.

## **2. Aprovechamiento Directo del Calor**

Se busca aprovechar el calor disponible (vapor o agua caliente), para procesos industriales y calentamiento espacial. En más de 60 países se aprovecha directamente el calor geotérmico. Islandia es un ejemplo estelar, en su capital, Reykjavik, más del 85% de las residencias son calentadas por agua geotérmica. La capacidad mundial alcanza a 16.649 MW, suficiente para proveer de calor a 3 millones de casas; tres países: EE.UU., China e Islandia, abarcan el 58 % de esta capacidad. En los últimos años, ésta se ha incrementado en un 56 % la capacidad y su uso en un 23%.

Una manera muy eficiente para proveer de calefacción y/o acondicionamiento de aire a hogares y edificios es mediante el uso de una bomba calórica geotérmica (Ver Figura 8). Esta puede mover calor de dos maneras: durante el invierno, el calor es tomado de la tierra y alimentado a la vivienda; en el verano, el calor es removido desde el edificio y disipado bajo tierra. Además, la energía geotérmica se aplica en determinadas técnicas agrarias: acondicionamiento de invernaderos y procesos de secado de cosechas, además de los usos terapéuticos y recreativos en SPA. Se estima que cerca de 40.000 personas en el mundo trabajan en la industria de producción de electricidad y calor por este medio. Al igual que la energía eólica, son empleos locales que juegan un papel importante en el desarrollo regional y nacional equilibrado.





**Figura 8.** Uso de la Energía Geotérmica

### Limitaciones

El potencial de la energía geotérmica es limitado (regionalmente) y agotable (para un sitio fijo) y los avances tecnológicos aparentemente no ofrecen grandes esperanzas para cambiar estas limitaciones. Además tiene problemas operacionales y ambientales que deben ser superados: los efluentes geotérmicos pueden portar sales corrosivas y gases contaminantes, aunque las emisiones atmosféricas son más fáciles de controlar que en una planta nuclear o en una que use combustibles fósiles. Por todo esto es posible concluir que este tipo de fuente muy difícilmente llegará a tener un peso significativo en los balances energéticos a escala global, estando su utilidad concentrada en sitios muy específicos y por tiempos limitados. Sin embargo, una tecnología emergente, la llamada "Hot Dry Rock", (HDR), avizora cambios importantes; tal que el futuro de la energía geotérmica dependerá de la factibilidad técnica y económica de esta tecnología actualmente en fase experimental. Su potencial es tal que se ha estimado que las fuentes de calor localizadas en profundidades accesibles en Norte América y Europa susceptibles de generar potencia por sistemas HDR es igual o mayor que la capacidad nuclear actual.

### Energía Eólica

De la energía del sol que llega al planeta, el 2 % se convierte en viento. Este se origina por el desplazamiento de grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja y por la rotación de la tierra (Cavallo et al, 1993). De todos los vientos generados, sólo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada ya que se requieren condiciones de intensidad y regularidad; así, sólo vientos con velocidades promedio entre 5 y 12 m/seg son los aprovechables. Esta energía cinética puede convertirse en energía útil mediante un sistema compuesto por: 1. Un rotor, que convierte la energía cinética en un movimiento rotatorio, 2. Un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación, y 3. Una aplicación, que puede ser: una aerobomba, si se trata de bombeo de agua; un aeromotor, si se acciona un dispositivo mecánico y un aerogenerador si se trata de un generador eléctrico. Esta última aplicación es la más difundida y utilizada tanto en redes de distribución como por usuarios remotos en todo el mundo.

Históricamente, las primeras aplicaciones de la energía eólica fue la navegación a vela, el bombeo de agua, la molienda de granos y, sólo a finales del siglo XIX, la generación de electricidad. Los molinos de viento proveyeron de energía a las civilizaciones europeas en la Europa medieval, con el advenimiento de la energía basada en fósiles en el siglo 18 y la electricidad a finales del siglo 19, la energía eólica cayó más y más en desuso y estaba virtualmente extinta en la segunda mitad del siglo 20 en la mayoría de los países industrializados (Hills, 1994).

Los desarrollos actuales empezaron en los años 70, en especial los aerogeneradores; en su versión moderna, los mismos se diseñan aprovechando el principio termodinámico del empuje similar al de las alas de aviones y con una potencia teórica máxima de conversión del 59 %. Los aerogeneradores comerciales han ido incrementando su potencia alcanzando desde 500 hasta 1.000 kW de potencia nominal; por ejemplo, con un aerogenerador con aspas de un diámetro de 40 m. y sujeto a vientos con velocidad promedio de 8 mt/seg, puede proveer hasta 600 kW de capacidad, cantidad suficiente para proveer de electricidad a un conjunto habitacional de 200 apartamentos. La capacidad mundial se ha duplicado cada tres años en la última década, llegando a 24.454 MW en el año 2001 (Ver Figura 9).

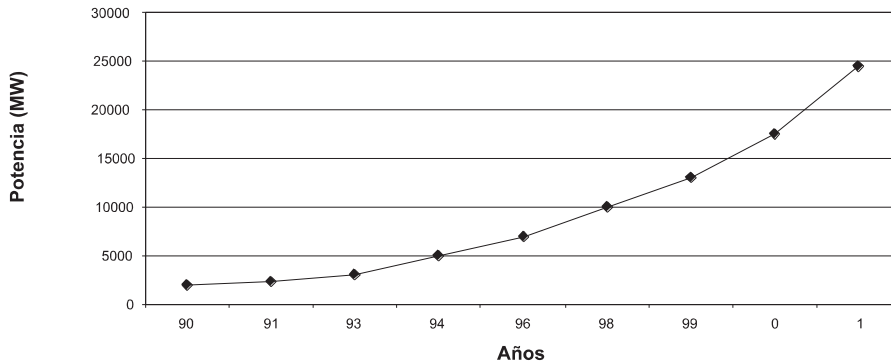


Figura 9. Crecimiento de la Potencia Eólica Mundial

Resulta difícil encontrar otra fuente energética, alternativa o no, que crezca a esta velocidad. Alemania tiene la capacidad más alta del mundo, con un valor por encima de 6000 MW, pero Dinamarca tiene el mayor nivel per cápita y una contribución del 12 % a su sistema de generación de electricidad. También es importante el desarrollo de España, como resultado de una agresiva estrategia gubernamental de fomento de alternativas al petróleo ha pasado de 75 MW en 1994 a 2270 MW para el año 2000. Resalta en particular la provincia de Navarra, con la industria eólica de más rápido crecimiento en el mundo ya que partiendo de cero capacidad pasó a obtener 23% de su electricidad del viento en menos de tres años (Era Solar, 2001).

En los Estados Unidos en los últimos 150 años se han instalado más de seis millones de molinos y turbinas de viento, la mayoría con una potencia menor a 1 HP, su aplicación más común es el bombeo de líquidos, especialmente en fincas y granjas remotas. A partir de 1973, en el estado de California se desarrollaron las granjas eólicas, grandes arreglos de pequeñas unidades de generación que agregadas representan capacidades

comparables a las de grandes plantas convencionales. Bajo este esquema, para 1999 California tenía más de 19.000 turbinas eólicas instaladas con una capacidad de generación de 1.700 MW, generando 3 billones de Kwh/año, suficiente para satisfacer los requerimientos de una ciudad de 1 millón de habitantes. Esta experiencia se está reproduciendo en varios estados y países. A comienzos del año 2001 se tenían instalados cerca de 2.800 MW eólicos en Estados Unidos.

En cuanto a costos, la electricidad eólica ya es hoy competitiva. Los avances tecnológicos en diseño y transmisión han causado disminuciones significativas en el costo de inversión y producción, tal que los precios han bajado en un 85 % en los últimos 20 años. Actualmente los costos promedio de la energía eléctrica generada a partir del viento se ubican entre 4 y 8 centavos de dólar por kWh generado, bastante cerca de los 2.5 centavos de dólar por kWh que actualmente cuesta la generación convencional mediante tecnología de punta.

La energía eólica es ambientalmente positiva, la electricidad generada en California desplaza la energía equivalente a 5 millones de barriles de petróleo y evita el lanzamiento de 1,6 billones de kilos de gases invernadero por año y de otras emisiones que contribuyen al smog y lluvia ácida. Las perturbaciones ambientales están asociadas con niveles de ruido, producto de la rotación de las aspas y dispositivos mecánicos, considerándose que 300-400 mt. es una distancia "aceptable", para compensar el ruido. Por otra parte, puede generar interferencia a ondas de televisión y radio. También pudiese hablarse de perturbaciones a la vida salvaje, especialmente de pájaros. El efecto visual, especialmente para grandes arreglos de turbinas, también es uno de los más obvios efectos ambientales. Sin embargo, los aerogeneradores de tercera generación superan en parte estas deficiencias, ya que son mucho menos ruidosos y giran a bajas velocidades.

### **Energía Nuclear**

Si bien se argumenta que no es una energía sustentable en el sentido completo del concepto, es una energía superabundante y prácticamente inagotable. El estudio sistemático de los problemas científicos y técnicos relacionados con la fusión nuclear se remontan a los años treinta, cuando se descubren las reacciones de fusión exotérmicas. Como en el caso de la fisión y en tantos otros avances tecnológicos, los objetivos militares precedieron a los civiles tanto en el tiempo como en el orden de prioridad.

La investigación de la fusión con fines prácticos comienza hacia 1950, con esfuerzos paralelos en EE.UU., URSS y Gran Bretaña; sin embargo, todos los intentos para construir un reactor de fusión eficiente fracasaron. Luego de décadas de investigaciones, la fusión nuclear todavía no ha sido probada en principio, esto es, la fusión nuclear no está lista para desarrollarse como una tecnología comercial hasta que se demuestre que la energía liberada por las reacciones nucleares es mayor que la requerida para que tales reacciones se den. En conclusión, la fusión nuclear permanece como una promesa a largo plazo para su rol propuesto de una fuente alterna de energía. Incluso, aún si se prueba la ganancia en energía neta y se desarrolla la tecnología de fusión nuclear para plantas de potencia, probablemente sea incompatible con el concepto de sustentabilidad debido al gran tamaño de los reactores y los problemas relacionados con la operación de tecnología nuclear.

### Consideraciones Finales

- El acelerado avance de la tecnología asociada al aprovechamiento de las EA, su consiguiente abaratamiento y la necesidad de preservar el ambiente las ubican como opciones a ser consideradas en los planes energéticos y ambientales - presentes y futuros- de cualquier país. La energía solar FV, eólica e hidráulica despiden como las más prometedoras.

- Ya sea para proveer de servicios de energía a regiones marginadas, surtir la energía necesaria para servicios municipales, y/o para ser parte integral de los sistemas que los proveen en centros urbanos, las EA deben incluirse en los planes de toma de decisiones a nivel nacional, regional, empresarial y hasta doméstico.

- Los beneficios sociales del aprovechamiento de las EA son varios: empleo, desarrollo regional, competitividad industrial, pero requieren que los gobiernos y la sociedad apuesten por su plena introducción en el mercado. Como fuentes locales pueden contribuir a la preservación de la cultura local y también promover nuevos estilos de vida que pueden ayudarnos a superar los desafíos del siglo XXI.

- La aspiración de la contribución al 50 % de la energía mundial demandada para el año 2050 requiere de profundos cambios en la infraestructura energética. Estos cambios sólo pueden lograrse mediante el desarrollo de una nueva manera de pensar acerca de nuestro ambiente y como generamos y usamos la energía: una nueva cultura que debe primar en cada parte de la sociedad y con responsabilidades compartidas.

- Sin embargo, para superar las limitaciones de intermitencia, altos costos, baja eficiencia y producción alejada de los centros de consumo, las EA requieren de un portador de energía o vector energético que conecte los centros de producción con los centros de demanda; la electricidad lo es actualmente, pero no es el más idóneo, múltiples estudios sugieren al hidrógeno como el vector más adecuado, al punto que la llamada "economía del hidrógeno" despunta como el modelo energético que motorizará el desarrollo humano del siglo XXI basado en los paradigmas emergentes de sustentabilidad, ecologismo y calidad ambiental. Determinar cuáles son las propiedades, características y elementos de un sistema energético basado en este singular elemento que permiten hacer estas proyecciones futuristas, será el propósito del tercero y último artículo de esta serie.

### Referencias

British Petroleum (2001) Solar Energy, en [http://bp.com/renewables\\_energies](http://bp.com/renewables_energies)

Carrasco, J., (1998) "Estado del desarrollo tecnológico del aprovechamiento de la biomasa", *Energía*, Vol. 158 pp. 15-26

Cassedy, E. (2000) *Prospects for sustainable Energy*, Cambridge: University Press

Cavallo, A.J. Hock, S.M,y Smith, D.R. (1993) *Wind Energy: technology and economics*, pp. 121-156. Washington D.C.:Island Press

Cavanagh, J.E. (1993) *Ocean Energy Systems*. Washington, DC: Island Press

Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas

- Dunn, S., (2002) "Hydrogen futures: toward a sustainable energy system", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol 27, N° 3, pp. 235-265
- Era Solar (2001) "Las cifras de la energía eólica en el año 2000", *Vol 101*, pp. 8-10
- García, M.,(2002) "Energías renovables y eficacia energética", *Energía*, Vol 162, 125-128
- Guerra, J. y Bravo, D.,(2001) "Potencial y proyectos de electrificación rural con energías renovables", *Era Solar*, Vol 101, pp. 7-11
- Hammond, G. (2000) "Energy, Environment and Sustainable Development: a UK perspective, *Trans I Chem E*, Vol 78, Part B, pp. 304-323
- Hills, R.L. (1994) *Power from wind: A History of Windmill Technology*. Cambridge: Cambridge University Press
- IEA, (2001), *International Energy Annual 2000*, "World energy overview" en [www.iea.org/world](http://www.iea.org/world)
- Kosmersky, L.L. (1997) "Photovoltaics: a review of cell and module technologies. Renewable and Sustainable" *Energy reviews*, 1, 71-70
- Martínez de Bascarán, G., (2002) "Medio Ambiente: futuro y pasado". *Ing. Química*, Vol 387, pp. 181-186
- Palmerini, C.G. (1993) *Geothermal Energy*. Washington, D.C.:Island Press. pp. 549-591
- Sanders, M.M. (1991) *Energy from the oceans*. New York: American Institute of Physics, pp. 257-297
- Wardle, D.G., The Seven-Barrage Project, *Technology&Democracy*, Vol. 1, Copenhagen, November (1992)