

## ENERGÍAS RENOVABLES: UNA REVISIÓN SISTÉMICA EN CLAVE SOCIAL

**Jaime González Velasco**

*Catedrático de Química Física (jubilado). Universidad Autónoma de Madrid*

### RESUMEN

El uso de la energía ha acompañado a la actividad de los seres humanos desde la más remota antigüedad. La mera existencia del hombre requiere que este ingiera las cantidades de alimentos, que no son otra cosa que combustibles biológicos, precisas para mantener los procesos vitales, el metabolismo basal y para realizar un trabajo que le permita sobrevivir.

En el presente artículo se lleva a cabo una revisión sistémica, histórica y conceptual del consumo de energía y el devenir actual de las energías renovables.

### 1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

Durante la mayor parte de los, aproximadamente, cuatro millones de años, que se estima ha existido el hombre como especie diferenciada, la media de potencia utilizada por persona, se calcula que se mantuvo, prácticamente constante, hasta apenas hace 200 años, en unos 125 W, o bien expresado en energía total por día:  $125 \text{ W} \times 1 \text{ J s}^{-1}/\text{W} \times 86400 \text{ s/día} = 10800000 \text{ J día}^{-1}/4.18 \text{ J cal}^{-1} = 2583732 \text{ cal día}^{-1} = 2583 \text{ kCal día}^{-1} = 10.8 \text{ MJ día}^{-1}/3.6 \text{ MJ kWh}^{-1} = 3 \text{ kWh día}^{-1}$ . A medida que se fue produciendo la evolución, fueron creciendo las necesidades energéticas, asociadas a nuevas actividades y trabajos de los seres humanos. La Tabla I.1 muestra la evolución producida en las necesidades energéticas, desde alrededor de 2600 kcal día<sup>-1</sup> consumidas por el *hombre primitivo*, hasta las 224000 que necesita, por término medio, el llamado *hombre tecnológico* para desarrollar todas sus actividades.

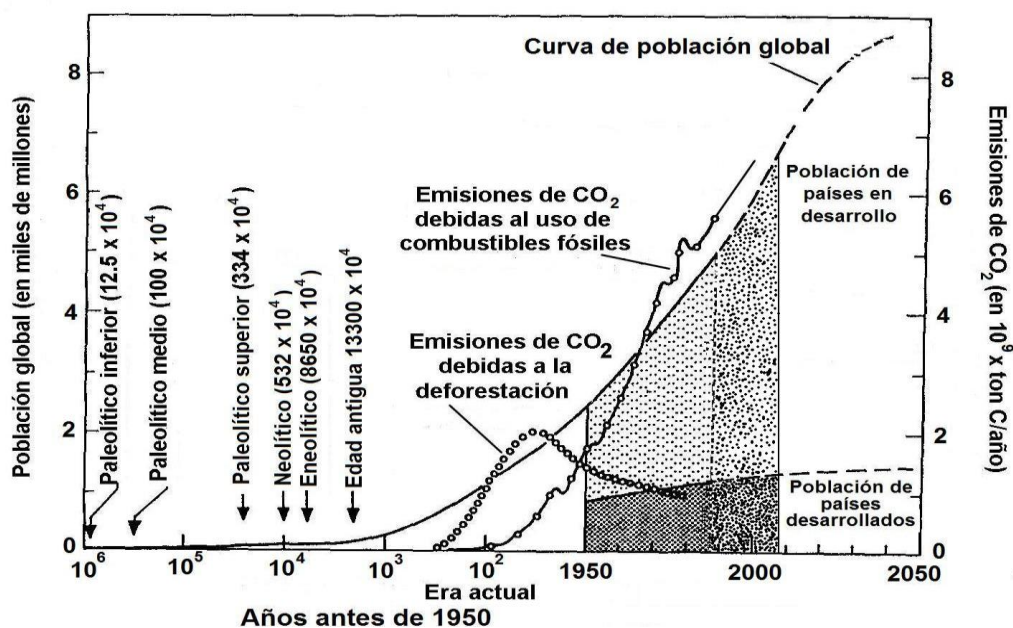
*Tabla I.1*  
*Consumo diario de energía en diferentes etapas del desarrollo humano*  
(en miles de kcal persona<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

|                   | Alimentos | Industria<br>Agricultura | Comercial<br>Residencial | Transporte | Total |
|-------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|------------|-------|
| H. recolector     | 2.6       |                          |                          |            | 2.6   |
| H. cazador        | 3         |                          | 2                        |            | 5     |
| Agricultor primi. | 4         | 4                        | 4                        | 1          | 13    |
| Agricultor avanz. | 3.5       | 7                        | 12                       | 1          | 24    |
| H. industrial     | 3.5       | 24                       | 32                       | 14         | 74    |
| H. tecnológico    | 3.5       | 91                       | 66                       | 63         | 224   |

Hace unos 230 años se produjo la denominada revolución industrial. Los conocimientos acumulados por el ser humano desde el Renacimiento, y, en especial, durante la segunda mitad del siglo XVII y las primeras décadas del XVIII, permitieron avances técnicos, por medio de los cuales fue

posible realizar trabajos que requerían mucha mayor energía que la que podían suministrar los músculos de hombres o animales. Ello se logró aprovechando la energía liberada en la combustión de un combustible de origen biológico, el carbón, que aparecía concentrado en yacimientos, para accionar máquinas de vapor. Las mayores temperaturas que era posible alcanzar, y la mayor cantidad de trabajo que podía desarrollarse, permitieron avances en la producción de nuevos materiales, por medio de los cuales se pudieron llevar a cabo perfeccionamientos en las máquinas, con lo que crecía la eficiencia de las mismas. Esa revolución industrial dio origen a un crecimiento de la población, que cada vez tenía mejores condiciones de vida y que requería cantidades de energía por persona mucho mayores que las aportadas por los alimentos. La utilización a gran escala de otro combustible fósil, el petróleo, a raíz de la invención del motor de combustión interna, a finales del siglo XIX, produjo avances espectaculares en los sistemas de transporte, en las condiciones de vida de los habitantes de los países en que se produjo y, como consecuencia, en el gasto energético por persona.

Figura I.1. Curva de la población global a lo largo del último millón de años en correlación con la curva de emisión de CO<sub>2</sub>.



Durante todo el siglo XX se produjo un crecimiento continuo del gasto energético, junto con avances en el número de personas que tenían acceso a un nivel de vida más elevado, lo que, finalmente, desembocó en una situación como la del momento actual, caracterizada por la inquietud que despiertan problemas como el agotamiento de los combustibles fósiles, o el calentamiento global, aparentemente derivado de la emisión de gases con efecto invernadero, como el dióxido de carbono, producidos por la combustión de los combustibles fósiles, o la generación de lluvia ácida, asociada a la emisión de otros productos de la combustión, como el SO<sub>2</sub> o los óxidos de nitrógeno, o la contaminación atmosférica, igualmente provocada por estos productos y por otros de origen orgánico y por partículas sólidas en suspensión provenientes de las cenizas, etc. La Figura I.1 muestra algunas curvas de correlación entre el crecimiento de la población global a lo largo del último millón de años y el crecimiento del CO<sub>2</sub> emitido anualmente como consecuencia de las diferentes actividades humanas.

Problemas políticos y sociales importantes relacionados con la localización de las fuentes energéticas tradicionales, junto con los anteriormente citados, han provocado un interés cada vez más extendido por encontrar nuevas fuentes de energía, caracterizadas por reponerse a un ritmo igual o más rápido al que son consumidas y a las que se denomina *energías renovables*.

No obstante, en las denominadas sociedades industrializadas, está tan implantado y extendido el uso de combustibles fósiles y nucleares para la generación de energía, que cualquier intento de

sustituirlos o, simplemente complementarlos con otras formas de energía, tropieza con dificultades de todo género, desde problemas tecnológicos o de diseño, a problemas políticos, de estructura social, de economía, de planificación e incluso históricos.

Se trata, incluso, de poner en cuestión las bases sobre las que se ha edificado la sociedad contemporánea, proponiendo soluciones contradictorias a los problemas antes mencionados. Hay quien propone un drástico cambio en la dirección de educar a las nuevas generaciones en el ahorro y la preservación de las fuentes, con el fin de controlar el calentamiento global y de demorar al máximo el momento inevitable del agotamiento de las fuentes de energía tradicionales. Otros, sin embargo, consideran que no debe frenarse el ritmo del progreso, pues, cuanto más rápido se produzca el mismo, aún a riesgo de incrementar aún más la velocidad de desaparición de los combustibles fósiles y el calentamiento global, antes se encontrarán soluciones a los problemas de *efecto invernadero* y de acceso a fuentes energéticas teóricamente “inagotables”, como podría ser, por ejemplo, la generación de electricidad a partir de la energía liberada en procesos de fusión nuclear.

El estudio de las energías renovables requiere enfocar el interés, no solo en cuestiones meramente técnicas, sino también en áreas tales como las *Ciencias del medioambiente*, por medio de estudios comparativos de cómo influyen en la atmósfera, en las corrientes de agua y en la vida animal y vegetal, los dispositivos utilizados para aprovechar las energías renovables, en comparación con el impacto que sobre los mismos producirían las mismas cantidades de energía generadas a partir de la combustión de combustibles fósiles o nucleares. En este caso hay que hacer alusión al efecto invernadero, a la lluvia ácida, a la contaminación de la atmósfera y de los océanos, e, incluso, a los efectos que el calentamiento global pueda ejercer sobre el clima y, en consecuencia, sobre toda la biosfera.

También hay que tomar en consideración los orígenes y los principios físicos sobre los que se basan las diferentes formas en que aparecen las energías renovables, para lo cual hay que tener una idea de las *Ciencias de la Tierra*.

El aprovechamiento de los flujos energéticos que dan lugar a las energías renovables, precisa de un esfuerzo en investigación y desarrollo en el campo de *nuevas tecnologías*, que permitan el diseño de nuevos dispositivos capaces de obtener mayor beneficio de las nuevas energías, mejorando la eficiencia de conversión de máquinas, motores, aparatos domésticos, etc. Hay que hacer también un esfuerzo en la búsqueda de una planificación que permita *integrar* a la energía producida por estos nuevos métodos en las *redes de distribución* de las denominadas formas de producción de energía tradicionales. También merecen ser objeto de estudio cuestiones tales como la mejora de la eficiencia en las formas de utilización actual de cualquier forma de energía, así como la construcción de edificios capaces de proveer, en parte o totalmente, sus necesidades energéticas a partir de energía solar y de hacer mínimas sus pérdidas energéticas por medio de diseños arquitectónicos inteligentes, dictados por el clima del lugar donde se levanten.

Las *Ciencias Sociales* pueden contribuir a buscar soluciones a dilemas tales como la producción de energía por medio de *sistemas centralizados y a gran escala*, frente a *sistemas locales y a pequeña escala*. En el primer caso, la unidad de energía puede ser más barata de producir, pero su distribución a través de una red extensa puede resultar cara. En la segunda opción, la unidad energética es más cara de producir, mientras que la red de distribución, al ser local, requiere una inversión menor, por lo que el transporte de cada unidad energética resulta menos caro que en el caso anterior, y las pérdidas producidas en el mismo se hacen menores. Por otra parte, la localización de grandes centros de producción energética en determinados puntos, los convierte en posibles objetivos bélicos o terroristas, por su impacto sobre las vidas de grandes centros de población.

La *Economía* ayuda a dilucidar cuales son los costes de producción por unidad energética, lo que puede contribuir a hacer más fácil la elección de cual pueda ser la mejor alternativa energética para determinados países o núcleos de población.

Por medio de una *planificación* adecuada se puede decidir en que puntos deben construirse centrales eléctricas, líneas de transmisión, campos eólicos, presas mareomotrices, plantaciones de biomasa, o plantas hidroeléctricas, de modo que su impacto medioambiental, social y legal sea lo menor posible. *La planificación de las formas de transporte permitiría utilizar energía procedente de diversas fuentes de un modo más económico y menos perjudicial para el medioambiente.*

Hay que insistir en la importancia que puede tener en el *ahorro energético* la construcción de edificios atendiendo a que puedan mantenerse con gastos energéticos mínimos, ya que el consumo energético en viviendas particulares, edificios institucionales, comerciales o industriales, contribuye de modo fundamental a los gastos totales de energía. Para ello es preciso que se conozcan las estrategias de la *Arquitectura bioclimática*, respetando unas normas de urbanismo e incorporando a la construcción elementos activos y pasivos que faciliten la utilización de energía proveniente de fuentes renovables y tradicionales.

## **2. DEFINICIÓN DE ENERGÍA, DIMENSIONES FÍSICAS Y UNIDADES DE MEDIDA.**

Cualquier alteración en la posición, propiedades, constitución o estado de un sistema determinado requiere la realización de un trabajo, el cual puede llevarse a cabo debido a la aplicación de fuerzas exteriores (viento, oleaje, o cualquier otra causa) sobre el sistema, o de fuerzas internas (debido, por ejemplo, a una explosión). Según esto, en los cuerpos existe una cierta capacidad para realizar trabajo, que puede tener su origen en su constitución, en la posición que ocupan en un campo gravitatorio o eléctrico, o en su estado de movimiento. A esta *capacidad de realizar un trabajo* que poseen los cuerpos, cualquiera que sea su causa, se le denomina *energía*. La propia etimología de la palabra contiene su definición, pues proviene de la palabra griega *ενεργεια*, que está relacionada con *εργον*, trabajo. Dado que la energía permanece latente en el cuerpo, mientras no se manifiesta explícitamente en forma de trabajo, *su medida se lleva a cabo evaluando el trabajo que puede generar, o bien determinando el trabajo que ha sido necesario realizar para llevar al cuerpo o sistema a su estado actual.* La *energía*, por lo tanto, *es una magnitud homogénea con el trabajo.* Es, igualmente, una magnitud escalar, tiene las mismas dimensiones, las de una fuerza multiplicada por un espacio ( $M L^2 T^{-2}$ ) y se mide en las mismas unidades ( $g\ cm^2\ s^{-2} = \text{ergio}$ , en el sistema cgs, o bien,  $kg\ m^2\ s^{-2} = \text{Joule}$  = J, en el sistema internacional, SI. Donde  $1\ J = 10^7\ \text{ergios}$ ).

### **2.1 Formas de la energía.**

*La energía aparece en diversas formas, como pueden ser la cinética, potencial, térmica, química, electromagnética o luminosa, eléctrica, la inherente a la masa, etc.*

La energía latente en los cuerpos puede deberse a su movimiento, y se le llama *energía cinética*, (un proyectil realiza un trabajo de deformación al colisionar con el blanco a causa de la velocidad que lleva). Este tipo de energía viene expresado por la ecuación: Energía cinética =  $E_c = \frac{1}{2} (m\ v^2)$ , donde m es la masa y v la velocidad del cuerpo o sistema. Las unidades en que se mide  $E_c$  son:  $(kg)\ (m\ s^{-1})^2 = kg\ m^2\ s^{-2} = J$ .

Los cuerpos también poseen energía según la posición que ocupan en un campo gravitatorio. A este tipo de energía se le denomina *energía potencial* (un martillo levantado a una cierta altura y dejado caer, puede hacer trabajo al golpear sobre un clavo) y viene expresada por la ecuación: Energía potencial =  $E_p = mgh$ . Esta expresión dice que la energía almacenada en un cuerpo de masa m (kg) que es elevado a una altura h (m) es proporcional a su masa y a la altura conseguida y al valor de la aceleración de la gravedad, g ( $9.8\ m\ s^{-2}$ ) en el lugar correspondiente. Como se ve, las unidades en que

se mide  $E_p$  son:  $(\text{kg}) (\text{m s}^{-2}) (\text{m}) = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} = \text{J}$ . A este tipo de energía también se le puede denominar *energía gravitatoria*, ya que, al existir un campo gravitatorio que se opone al alejamiento de un cuerpo de la Tierra (es decir, a un incremento de su altura con respecto a la superficie de la Tierra), es necesario realizar un trabajo para elevar su posición. Este trabajo queda entonces almacenado en forma de energía potencial.

Estas son formas de *energía externa o macroscópica*. Por *energía interna o microscópica* se entiende aquella que posee un cuerpo debida a la estructura que adoptan los átomos y moléculas que lo componen, a la forma en que se encuentran enlazados (el aire caliente está más expandido que el aire a temperatura ambiente, y, por ello, es menos denso, lo que puede ser aprovechado para hacer subir a un globo, un cartucho de explosivo está formado por compuestos de gran inestabilidad que pueden liberar gran cantidad de energía en un corto instante con la que se puede realizar un trabajo de desprendimiento de rocas, etc).

*La energía térmica* de un cuerpo va asociada al movimiento de su estructura atómica o molecular. En un sólido, un incremento de la temperatura implica un mayor desplazamiento vibracional de los átomos, iones o moléculas que forman el retículo cristalino, es decir, un incremento de la frecuencia y amplitud de desplazamiento en torno a la posición de equilibrio de los mismos. En los líquidos, y, sobre todo en los gases, el incremento de temperatura va asociado a un aumento de la energía cinética de las moléculas, iones, o átomos de que están formados. Así pues, el calor es el nombre que recibe la energía térmica asociada con el movimiento al azar de las partículas componentes de un cuerpo. Por lo tanto, *más caliente significa un movimiento al azar más rápido. Una medida del nivel térmico de un cuerpo es su temperatura*. Si se ponen en contacto dos cuerpos a temperaturas diferentes, se produce una transferencia espontánea de energía térmica o *calorífica* desde el cuerpo que se encuentra a mayor temperatura (y, por lo tanto, a mayor nivel térmico) hacia el que se encuentra a temperatura menor. Esto tiene lugar hasta que ambos cuerpos alcanzan la misma temperatura, es decir, se encuentran en equilibrio térmico.

La razón que explica la transferencia de energía térmica desde una fuente a mayor temperatura a otra a menor radica en que en el cuerpo a mayor temperatura, las partículas de que está compuesto se mueven más rápidamente (según vibraciones entorno a su punto de equilibrio, si se trata de un sólido, o por desplazamientos netos al azar en el caso de cualquier tipo de fluido) que las que forman parte del cuerpo que está a temperatura menor. Al ponerlos en contacto se produce una transferencia de energía cinética desde las partículas que se mueven más rápidamente a las más lentas, hasta que la energía cinética media de todas las partículas se hace la misma, es decir, hasta que se alcanza la misma temperatura en ambos cuerpos, situación a la que se denomina de equilibrio térmico. Según esto, la temperatura cero sería aquella en que el movimiento molecular fuese nulo, lo que corresponde a cero grados en la escala absoluta o Kelvin (a cero grados Kelvin, (0 K), sin embargo, permanece un nivel vibracional residual). La escala de temperaturas más utilizada es la Celsius o centígrada, y la correspondencia entre la escala absoluta y la Celsius viene dada por: Temperatura absoluta (K) = Temperatura centígrada ( $^{\circ}\text{C}$ ) + 273, lo que indica que el cero absoluto se corresponde con  $-273^{\circ}\text{C}$ .

*La energía química es la energía que poseen los compuestos químicos debido a los enlaces químicos que los forman*. Un enlace químico es un nivel energético molecular que es ocupado por un par electrónico. Los compuestos disponen de niveles energéticos ocupados, llamados enlazantes, y de otros desocupados de mayor energía que se denominan anti-enlazantes. El nivel energético desocupado de menor energía en cualquier compuesto es el LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital). El LUMO de cualquier compuesto puede recibir electrones de un elemento o compuesto cuyo nivel energético enlazante de mayor energía (HOMO = Highest Occupied Molecular Orbital) se encuentre por encima de él en la escala energética, dando así lugar a una oxidación del donante electrónico y a una reducción del receptor. A consecuencia de estas transferencias de carga se produce el debilitamiento y/o ruptura de enlaces, que lleva a las *reorganizaciones moleculares a las que se denomina reacciones químicas*. En reacciones espontáneas, los productos se caracterizan por energías

químicas (energías libres, en su denominación termodinámica) menores que las de los reactivos de partida, es decir los productos están formados por niveles electrónicos de enlace con menor energía que la de los niveles que ocupaban los electrones en los reactivos de partida. La diferencia de energía se emite en forma de calor, o bien, si la reacción tiene lugar en un dispositivo electroquímico, una parte importante de esa diferencia energética (de hasta un 70%) se puede obtener en forma de energía eléctrica. En otras ocasiones se puede emitir esta diferencia de energía, o una parte de ella, en forma de luz.

En las líneas anteriores se ha descrito de forma resumida el proceso de *combustión*, que sigue siendo, pese a su ineficiencia, el más utilizado a la hora de extraer energía de combustibles fósiles y de biocombustibles. También es el proceso del que se sirven los seres vivos para extraer energía de los alimentos (que no son otra cosa que combustibles biológicos o biocombustibles). Esta energía se libera porque los combustibles y, por tanto, los alimentos, contienen electrones situados en niveles energéticos de mayor energía que el primer nivel no ocupado (LUMO) del oxígeno. Cuando combustible y oxígeno entran en contacto, los electrones que forman parte de los enlaces de los primeros tienden espontáneamente a buscar los niveles de menor energía que les suministra el oxígeno, poniéndose así en marcha la reorganización molecular a la que denominamos reacción de combustión, y liberándose la diferencia de energía en una forma energética que depende del camino que se le ofrezca a los electrones para ser transferidos, es decir, dependiendo del dispositivo que se diseñe para ello. En cierto modo, *dado que la energía química se pone de manifiesto a través de transferencias de electrones entre niveles de energía diferente, podría ser considerada como un modo particular de la energía eléctrica.*

Una forma más común en que aparece la *energía eléctrica* es la *electricidad*. *La corriente eléctrica es un flujo ordenado de electrones*. Este flujo se produce con suma facilidad en los materiales denominados *conductores*, que se caracterizan por ofrecer una muy baja resistencia a dicho flujo. Los mejores conductores son los metales, que están formados por cristales donde los átomos están unidos entre sí por medio del enlace metálico. Este surge de la formación de una banda de gran cantidad de niveles moleculares enlazantes con separaciones energéticas entre ellos extremadamente pequeñas (del orden de  $10^{-22}$  ó  $10^{-23}$  eV). Todos los niveles ocupados por electrones, forman una *banda*, denominada *de valencia*, que, en los metales, se superpone a otra *banda de niveles desocupados e igualmente poco separados entre sí, denominada de conducción*. Basta la aplicación de una diferencia de potencial mínima para conseguir promocionar electrones desde la banda de valencia a la de conducción, y para que en ella cambien fácilmente de niveles. La frase anterior se puede traducir diciendo que en el metal existen electrones prácticamente libres, lo que les permite desplazarse fácilmente a través del mismo. No obstante, los electrones, al desplazarse, sufren colisiones con el retículo cristalino, lo que da lugar a que, para mantener un flujo estacionario de los mismos, sea preciso un gasto energético constante. A su vez, las colisiones entre electrones en movimiento y átomos del retículo dan lugar a un incremento de la frecuencia y amplitud de las vibraciones de estos últimos, lo que se manifiesta en un incremento de la temperatura, y, eventualmente, en la fusión del metal.

*En una batería o acumulador se produce, durante el proceso de descarga, una conversión de energía química en energía eléctrica, y, el proceso inverso durante la carga de la misma.*

*En una central eléctrica térmica, se parte de la energía contenida en los enlaces de los combustibles, la cual, en presencia de oxígeno da lugar a la formación de productos (en el mejor de los casos  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ) y a la emisión de calor que se utiliza para generar vapor de agua a presión elevada, o bien gases calientes. Estos fluidos, a gran presión, se dejan actuar sobre los álabes de una turbina, donde se transforman los movimientos caóticos individuales de las moléculas componentes del fluido caliente en un movimiento ordenado de rotación que se transmite a un eje. Este eje va unido a un generador eléctrico, donde se hace uso del principio de Faraday (cuando se hace girar un hilo conductor en el seno de un campo magnético, se produce entre los extremos del conductor una diferencia de potencial que genera una corriente eléctrica) para transformar energía mecánica de*

rotación en energía eléctrica. Esta energía eléctrica puede transformarse con facilidad y con eficiencias elevadas, en otras formas de energía, tales como térmica, mecánica en un motor eléctrico, luminosa, etc, si se dispone del dispositivo adecuado para ello.

*La energía que transporta la radiación electromagnética* viaja en forma de ondas incluso a través del espacio vacío. Todos los cuerpos irradian este tipo de energía en forma de un espectro de radiaciones de diferente longitud de onda. La forma y extensión del espectro emitido por cualquier cuerpo es una función de la temperatura a la que se encuentre. La energía de las diferentes radiaciones monocromáticas es máxima en los rayos-X, menor en la radiación ultravioleta, visible, infrarroja, microondas y radioondas, sucesivamente. La energía solar llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, donde es absorbida parcialmente y convertida en diferentes formas de energía.

La *energía nuclear* se libera en procesos de ruptura de los núcleos de elementos radiactivos, a los que se denomina *fisión nuclear*. En estos procesos de fisión se produce una transformación de una pequeña parte de la masa inicial en energía térmica, de acuerdo con la ecuación de Einstein:  $\Delta E = \Delta m c^2$ . Dado que el factor de proporcionalidad entre la masa y la energía es la velocidad de la luz al cuadrado, una mínima transformación de masa da lugar a la emisión de una cantidad muy grande de energía, la cual puede transformarse en electricidad por medio de procesos análogos a los utilizados en una central térmica.

## 2.2. Unidades de medida de la energía.

En las discusiones sobre transformaciones energéticas aparece el término *energía primaria*. Se denomina *energía primaria* a la que se extrae directamente de los yacimientos sin ser sometida a ningún tipo de transformación. En muchas ocasiones, las cantidades de energía primaria se expresan en *barriles equivalentes de petróleo, bep*, o en *toneladas equivalentes de petróleo, Tep*, con lo que se pretende dar a entender la energía producida en la combustión de un barril o de una tonelada de ese combustible fósil. Un barril de petróleo equivale a una capacidad aproximada de 160 litros, los cuales se transforman en una masa de 137 kg, al multiplicar esa cifra por la densidad del petróleo ( $\rho_{\text{petróleo}} \approx 0.86 \text{ kg/litro}$ ). Una *Tep* (tonelada equivalente de petróleo = 7.3 barriles de petróleo = 1.5 tec, toneladas equivalentes de carbón) al quemarse produce  $4.17 \times 10^{10} \text{ J}$  en forma de calor (donde hay que tener en cuenta que esta cifra puede mostrar fluctuaciones según la composición del petróleo de que se trate y que, además, se supone que la eficiencia del quemador es del 100%). A partir de este número es fácil deducir que  $10^{18} \text{ J} = 1 \text{ EJ} = 24 \times 10^6 \text{ Tep} = 24 \text{ MegaTep} = 24 \text{ Mtep}$  (donde el prefijo mega, escrito *M*, equivale a  $10^6$ ). Si se dice que en el mundo actual se consume energía primaria a un ritmo aproximado de  $400 \text{ EJ año}^{-1}$ , esa cifra se convierte fácilmente en:  $400 \text{ EJ año}^{-1} \times 24 \text{ Mtep (EJ)}^{-1} = 9600 \text{ Mtep año}^{-1} = 9.6 \times 10^9 \text{ tep año}^{-1} = 9.6 \text{ Gtep año}^{-1} = 9.600 \text{ millones de toneladas de petróleo al año}$ . Las Tablas I.1 y I.2 muestran los factores de conversión entre las principales unidades utilizadas para expresar cantidades de energía primaria.

Tabla I.1  
Factores de conversión de diferentes unidades energéticas

|      | MJ                     | kcal               | GJ                     | kWh                   | Tep                   | Tec <sup>(*)</sup>     | Btu                 |
|------|------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| MJ   | 1                      | 239                | $10^{-3}$              | 0.28                  | $24 \times 10^{-6}$   | $36 \times 10^{-6}$    | 947.82              |
| kcal | $4.18 \times 10^{-3}$  | 1                  | $4.18 \times 10^{-6}$  | $1.16 \times 10^{-3}$ | $10^{-7}$             | $1.49 \times 10^{-7}$  | 3.968               |
| GJ   | 1000                   | 239000             | 1                      | 278                   | 0.024                 | 0.036                  | $9.5 \times 10^5$   |
| kWh  | 3.6                    | 860                | 0.0036                 | 1                     | $86 \times 10^{-6}$   | $0.13 \times 10^{-3}$  | 3413                |
| Tep  | 42000                  | $10^7$             | 42                     | 11700                 | 1                     | 1.5                    | $3.981 \times 10^7$ |
| Tec  | 28000                  | $6.69 \times 10^6$ | 28                     | 7800                  | 0.67                  | 1                      | $2.654 \times 10^7$ |
| Btu  | $1.055 \times 10^{-3}$ | 0.252              | $1.055 \times 10^{-6}$ | $2.93 \times 10^{-4}$ | $2.51 \times 10^{-8}$ | $3.768 \times 10^{-8}$ | 1                   |



(\*) Tec indica una energía equivalente a la producida por combustión de una tonelada de carbón. Es una cifra media, aceptada internacionalmente, pero que puede ser ligeramente diferente según la composición del carbón de que se trate.

*Tabla I.2*  
*Factores de conversión de unidades de energía a gran escala*

|      | <b>PJ</b> | <b>EJ</b> | <b>TWh</b> | <b>Mtep</b> | <b>Mtec</b> |
|------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| PJ   | 1         | $10^{-3}$ | 0.278      | 0.024       | 0.036       |
| EJ   | 1000      | 1         | 278        | 24          | 36          |
| TWh  | 3.6       | 0.0036    | 1          | 0.086       | 0.13        |
| Mtep | 42        | 0.042     | 11.7       | 1           | 1.5         |
| Mtec | 28        | 0.028     | 7.8        | 0.67        | 1           |

*Múltiplos de la unidad*

| Prefijo | Factor    | Símbolo |
|---------|-----------|---------|
| Yotta   | $10^{24}$ | Y       |
| Zetta   | $10^{21}$ | Z       |
| Exa     | $10^{18}$ | E       |
| Peta    | $10^{15}$ | P       |
| Tera    | $10^{12}$ | T       |
| Giga    | $10^9$    | G       |
| Mega    | $10^6$    | M       |
| Kilo    | $10^3$    | k       |

Se proponen a continuación dos ejemplos de como utilizar las Tablas anteriores.

*Ejemplo.* Una vivienda familiar utiliza 1,2 gigajulios, (GJ), de energía al mes para obtener agua caliente. ¿Cuántos kWh son?

La respuesta se encuentra buscando el factor de conversión de GJ en kWh, dado en la Tabla I.1, donde se encuentra que  $1 \text{ GJ} = 278 \text{ kWh}$ . Por lo tanto, multiplicando 1.2 GJ por esa cantidad se obtiene la energía expresada en kWh:  $1.2 \text{ GJ} \times 278 \text{ kWh/GJ} = 334 \text{ kWh}$ .

*Ejemplo.* Los biocombustibles contribuyen con 8.5 EJ al consumo anual de energía primaria de la India. ¿Qué cantidad de petróleo ahorra ese país al año debido a la utilización de biocombustibles?

La Tabla I.2 muestra que 1 EJ equivale a 24 Mtep, por lo tanto, el ahorro en petróleo sería:  $8.5 \text{ EJ} \text{ año}^{-1} \times 24 \text{ Mtep/EJ} = 204 \text{ Mtep} \text{ año}^{-1} = 204 \text{ millones de toneladas de petróleo por año}$ .

### 3. POTENCIA, CONVERSIÓN DE ENERGÍA Y EFICIENCIA DE CONVERSIÓN.

Hay que tener clara la diferencia entre cantidades de energía empleadas o que se producen o consumen a consecuencia de los procesos, y el *ritmo o la velocidad a la que la energía se convierte de una forma en otra, o es transmitida de uno a otro lugar. A la velocidad por segundo con que la energía se convierte de una forma en otra o se transfiere, se le denomina potencia de la conversión o transmisión*. Las dimensiones de la potencia son las de energía/tiempo:  $(\text{M L}^2 \text{ T}^{-2}/\text{T})$  y las unidades en el SI son Watios =  $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} / \text{s} = \text{J/s}$ , y la unidad más empleada en las discusiones es el kilowatio, kW, que son 1000 W. A menudo se comete el error de considerar al kWh como una unidad de potencia, siendo, en realidad, la energía que libera la potencia de un kW actuando durante una hora, es decir:  $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ J/s} \times 3600 \text{ s/h} = 3600000 \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$ . Además del W y el kW, se utiliza con frecuencia como unidad de potencia el HP = CV = caballo de vapor = 746 W. Una equivalencia útil cuando se manejan aparatos eléctricos es Watios = voltios x amperios ( $\text{W} = \text{V} \times \text{A}$ )



*En los procesos de conversión de energía se cumplen los principios de la Termodinámica. El primer principio establece que en toda transformación energética la cantidad total de energía se mantiene constante.* Esto pone de manifiesto la inconsistencia de expresiones tales como consumo energético, pues, en realidad, lo que se hace al utilizar la energía, es transformarla, de una de las formas en que se presenta, en otra diferente, tal como se ha explicado que se hace en una central térmica.

Sin embargo, cuando se lleva a cabo la transformación de cualquier forma energética en otra diferente, la energía que resulta útil en la transformación siempre es menor que la que se ha utilizado. Como se cumple el primer principio de la Termodinámica, la cantidad de energía inicial es siempre igual a la final, pero en esta, cierta cantidad de energía se ha transformado en una forma menos productiva. A la relación entre energía útil,  $E_u$ , para llevar a cabo un proceso y energía total,  $E_t$ , que requiere el mismo, se le denomina *eficiencia o rendimiento del proceso*, y se designa con la letra griega  $\eta$  (eta). La eficiencia se puede expresar en tanto por uno, como:  $\eta = E_u/E_t$ , o en tanto por ciento, multiplicando dicho número por cien. La eficiencia de una transformación energética puede tomar valores tan elevados como el 90%, que es posible conseguir en ciertas *turbinas hidráulicas* o en *motores eléctricos*, hasta valores tan bajos como los 10 ó 20% que se alcanza en los *motores de combustión interna*, o los del 35-40% que se logra en *centrales termoeléctricas* movidas por combustión de carbón sin aprovechar el calor de desecho. Algunas de estas eficiencias se pueden mejorar recurriendo a diseños perfeccionados de los dispositivos de transformación, pero otras son inherentes a la naturaleza del propio proceso, que siempre se produce cumpliendo el *segundo principio de Termodinámica*. Una de las formulaciones de este principio afirma que cualquier proceso tiene lugar con la degradación de una cantidad determinada de energía.

Para entender la distinción entre energía total y energía útil, se puede analizar como se produce la transformación del calor contenido en los gases producidos por combustión de gasolina en un cilindro de un motor de combustión. Las moléculas de los gases a elevada temperatura se mueven con una velocidad media elevada de forma totalmente caótica. Al hacerlo pueden chocar con el pistón, transfiriéndole parte de su energía cinética. Si el choque se produce de manera frontal, es decir, si la molécula se mueve exactamente en la misma dirección y sentido que el pistón en la fase de expansión, la proporción de energía transferida desde las moléculas al émbolo será elevada. Si los choques tienen lugar formando cualquier ángulo con la dirección de movimiento del pistón, solo contribuirán a las acciones de empuje, aquellas componentes del vector velocidad, que sean perpendiculares al émbolo, mientras que la otra componente (y, por lo tanto, una parte de la energía entrante) solo genera acciones de deformación sobre el dispositivo. Por otra parte, al ser el movimiento caótico, una gran proporción de las moléculas, ni siquiera chocan contra el émbolo sino que lo hacen contra las paredes del cilindro transformando la energía cinética en calor. Finalmente, de la energía térmica total producida en la combustión, una parte significativa se marcha con los gases de escape. De esa forma puede explicarse el rendimiento tan bajo que se produce en los motores de combustión interna. La eficiencia de conversión de calor en otra forma de energía alcanza el valor límite solo para procesos realizados bajo *condiciones de reversibilidad termodinámica*, condiciones que son *inalcanzables en la práctica*.

*El segundo principio de la Termodinámica establece que la eficiencia de un proceso térmico ideal, al que se denomina ciclo de Carnot, viene dada por la ecuación:  $\eta = (T_2 - T_1)/T_2$ , donde  $T_2$  y  $T_1$  representan las temperaturas absolutas de las fuentes caliente y fría, respectivamente. Si el vapor que entra en una turbina que forma parte de una central térmica estuviese a 600 °C y el que saliese de la misma a 40 °C, en dicho caso:  $T_2 = 600\text{ °C} + 273 = 873\text{ K}$ , y  $T_1 = 40\text{ °C} + 273 = 313\text{ K}$ , por lo que, el rendimiento máximo ideal, inalcanzable en la práctica, sería:  $\eta_{\text{Carnot}} = (873 - 313)\text{ K}/873\text{ K} = 0.64$  (ó 64%). Las turbinas de vapor más eficientes en la práctica apenas son capaces de alcanzar un 70% de este valor, es decir, una eficiencia del 44%.*

En el rendimiento global hay que tener en cuenta también las eficiencias con que se producen la combustión, la evaporación del agua ( $\eta_{\text{Com+Evap}} \sim 90\%$ ) y la del generador eléctrico ( $\eta_{\text{Gen Eléct}} \sim 90\%$ ). La eficiencia global de un proceso que se verifica en diversos pasos es igual al producto de las eficiencias de los pasos individuales. En consecuencia, se puede afirmar que la eficiencia global de la transformación del calor en energía eléctrica podría ser del orden de 36%. Además, una pequeña parte de la electricidad producida sería necesaria para mantener en marcha las instalaciones, por lo que un número aún más realista podría ser que la eficiencia alcanzase un valor del orden del 35%. Por lo tanto, una central térmica, tal como las que se proyectan para abastecer de electricidad a grandes núcleos de población, que puede tener una *producción nominal (producción nominal es la que se obtendría de una central si la misma funcionara continuamente a máxima carga, es decir, produciendo la potencia máxima para la que está proyectada)* del orden de: Potencia útil = 1.5 GW = 1500 MW de potencia eléctrica necesitaría una potencia total, suministrada por el combustible de: Potencia total = 1.5 GW x (100/35) = 4.3 GW, de los cuales 4.3 – 1.5 = 2.8 GW se convertiría en *calor de desecho*. El rendimiento de la operación se hace más elevado recurriendo a *procesos en cascada*. Si se hiciera uso de este procedimiento, el calor de desecho podría ser aprovechado para suministrar calefacción y agua caliente a más de un millón de viviendas, siempre que las mismas se encontrasen suficientemente próximas a la central.

Otra forma de incrementar la eficiencia de conversión de energía térmica en electricidad es utilizar las denominadas *turbinas de ciclo de gas combinado (TCGC)*, en las que puede llegarse a alcanzar eficiencias del orden del 50%. En ellas se quema gas natural (formado, prácticamente al 100%, por metano), alcanzándose temperaturas muy elevadas en una turbina de gas cuyo eje está conectado al de un generador eléctrico. Los gases de desecho, que salen de la primera turbina aún muy calientes, se emplean en la producción de vapor de agua, que se utiliza en una turbina de vapor convencional, que produce así una cantidad adicional de electricidad.

Se ve, que *determinados procesos de transformación energética*, por ejemplo, electricidad en trabajo mecánico, o a la inversa, *se producen con gran eficiencia*, mientras que hay otros, fundamentalmente aquellos en que se pretende transformar energía térmica en mecánica o electricidad, en los que las eficiencias con que se producen son significativamente menores. Parece como si existiese una *jerarquía* que permitiese clasificar las distintas formas en que aparece la energía. *Esta jerarquía se denomina grado termodinámico o grado de nobleza de la energía, es una consecuencia del segundo principio de la Termodinámica, y su explicación microscópica va asociada a razonamientos como el que se utilizó para explicar la transformación de la energía de expansión de los gases en un cilindro de un motor de explosión.*

*Las energías de mayor grado termodinámico* son las formas más organizadas de la energía, como las energías cinética y potencial y la energía eléctrica. Su interconversión mutua o su conversión en energías de menor grado termodinámico se produce con elevadas eficiencias. La energía química (denominada, en términos termodinámicos, *energía libre*) se caracteriza por un *grado termodinámico intermedio*. Su conversión directa en energía eléctrica se puede llevar a cabo en dispositivos electroquímicos con eficiencias que pueden llegar a ser del 70%, si la corriente extraída es baja (es decir, si el proceso se verifica con cierta lentitud, por lo que su grado de irreversibilidad no es muy elevado).

*La energía electromagnética* es de grado elevado, pero su conversión directa en electricidad, por medio de dispositivos fotovoltaicos o fotoelectroquímicos, apenas si se ha podido llevar a cabo con eficiencias máximas del 30%.

*La energía térmica es la de menor grado o nobleza termodinámica*, lo cual se pone de manifiesto porque su conversión en formas de energía de grado termodinámico más elevado se produce con eficiencias bajas. A su vez, *el grado termodinámico de la energía térmica es tanto mayor, cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre las que se lleve a cabo el proceso de*

*transformación, o bien, la energía calorífica es de mayor grado termodinámico o nobleza, cuanto mayor es la temperatura a la que se encuentra el calor.* Por lo tanto, la eficiencia de una transformación de energía térmica en otra forma de energía, será tanto mayor, cuanto más elevada sea la temperatura a la que se encuentre ese calor y menor la temperatura a la que sale del dispositivo el calor no aprovechado. Para comprender mejor lo anterior, se puede comparar el rendimiento de una turbina de vapor, como la mencionada anteriormente, que funcionaba entre 600 y 40 °C y la eficiencia de un sistema que tratase de extraer energía de la diferencia de temperaturas que existe entre el agua que se encuentra en los océanos próximos a zonas ecuatoriales o tropicales, y el agua que está a una profundidad de 1000 metros. Las aguas superficiales se encuentran a unos 23 °C, mientras que las que aparecen a la profundidad antes dicha pueden encontrarse a unos 3 °C. Según los datos anteriores, una máquina de Carnot que funcionase entre ambas temperaturas mostraría una eficiencia de:  $\eta_{\text{Carnot}} = ((23 + 273) - (3 + 273))/(23 + 273) = 0.067$  (ó del 6.7%). Comparando este valor con el obtenido para la turbina, se observa que las pérdidas asociadas a transformaciones de calor de baja temperatura son sensiblemente mayores que las que se producen cuando se transforma calor a temperatura elevada.

### ***Uso racional de la energía.***

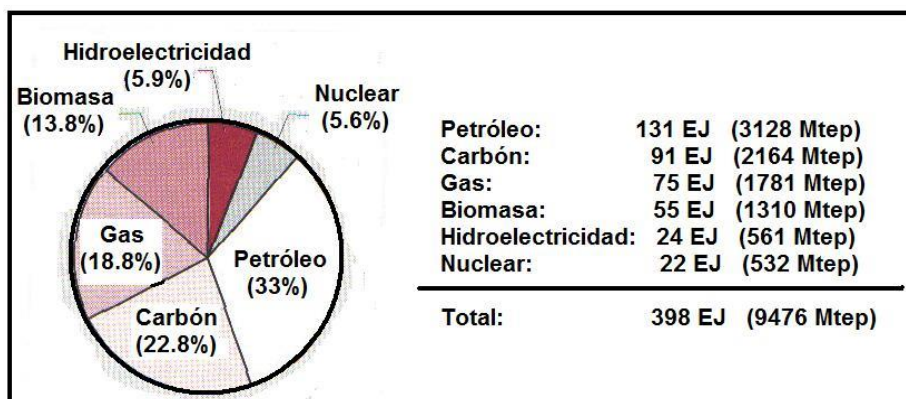
A la hora de planificar la utilización de la energía, una forma de conseguir ahorrar, y, por lo tanto, de hacer un uso más racional de la misma, es tratar de *adaptar el grado de la energía al tipo de uso que se quiera hacer de ella.* Por ejemplo, no tiene demasiado sentido utilizar electricidad en la generación de calor, aunque tal transformación se pueda llevar a cabo con una eficiencia elevada. La mayor parte de la electricidad consumida en los países europeos procede de centrales térmicas, en las que se transforma calor producido por combustión de combustibles fósiles en energía eléctrica con una eficiencia que apenas llega al 40%, y a costa de emitir grandes cantidades de gases generadores de efecto invernadero y de lluvia ácida. Es decir, alrededor del 60% de la energía contenida en los combustibles que se queman en la central térmica se pierde. No tiene pues, mucho sentido utilizar la electricidad para producir calor de baja temperatura, en vez de producir el mismo calor por combustión directa de los combustibles.

También es posible hacer un uso racional del calor de desecho de una central térmica para suministrar calefacción y agua caliente a viviendas que se encuentren en las proximidades de la central térmica. Con ello se habrá adaptado la aplicación de este calor de baja temperatura al uso más racional. Este es el principio que rige la denominada *co-generación*, que consiste en una generación combinada de electricidad y calor. El combustible se quema y, con el calor desprendido, se genera energía eléctrica, mientras que el calor saliente de las turbinas se utiliza como energía térmica de baja temperatura para suministrar calefacción y agua caliente a los clientes, o para llevar a cabo procesos de secado en agricultura o industria. De este modo, recurriendo a *una utilización de la energía en cascada, a través de varios usos*, las *plantas de co-generación pueden alcanzar eficiencias globales de más del 80%*. Se consigue así ahorrar energía, adaptando del modo más cercano posible el grado de la misma al tipo de uso que mejor la aproveche.

## **4. CONSUMO ENERGÉTICO.**

El funcionamiento de las sociedades modernas, industriales y postindustriales, se produce como consecuencia del uso de cantidades de energía desmesuradas. La mayor parte de la energía que se utiliza procede de la combustión de combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural, de los cuales las reservas son limitadas y su agotamiento será cuestión de plazos no tan largos. El consumo de energía primaria a escala mundial alcanza los 450 EJ en el momento actual, equivalentes a más 10000 millones de toneladas de petróleo por año. Dividiendo esta cifra por la población mundial (~ 6000 millones de habitantes), se obtiene un consumo per capita de: 10000 millones de Tep año<sup>-1</sup>/ 6000 millones de habitantes  $\cong 1.7$  Tep /habitante año. O bien, recordando que la densidad del petróleo es  $\rho_{\text{petróleo}} = 0.86 \text{ kg/l}$ ,  $1700 \text{ kg hab}^{-1} \text{ año}^{-1}/0.86 \text{ kg l}^{-1} = 1976$  litros de petróleo por habitante y por año.

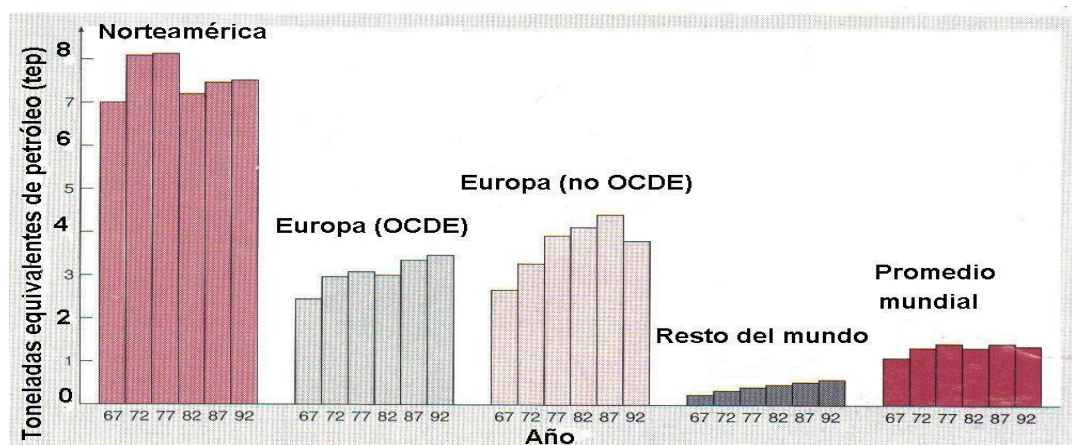
Figura I.2. Una estimación del consumo de energía primaria en el mundo.



El equivalente en energía primaria de la producción de hidroelectricidad viene expresado en función de la energía térmica que se obtendría por combustión de petróleo en una central térmica convencional para generar la misma cantidad de electricidad. De modo análogo se expresa el equivalente en energía primaria de la electricidad producida en plantas nucleares. Al consultar diversas fuentes de datos sobre consumo de energía, pueden resultar cifras diferentes, debido a que se utilizan valores ligeramente distintos para el contenido de energía de los diversos combustibles. También pueden cambiar las estimaciones sobre el consumo de biomasa, debido a la dificultad asociada a su evaluación.

Esta cifra media puede ocultar, que una parte importante del petróleo consumido en el mundo es la consecuencia de su utilización por la industria, el comercio, las instituciones gubernamentales, la agricultura, y otras. A su vez, un 14% de la energía primaria total consumida procede de la combustión de combustibles biológicos, como estiércol y madera. Por otra parte, la media antes escrita es engañosa, puesto que oculta las diferencias exorbitantes que se producen en el uso de energía por los distintos países (ver Figura I.2). Para tener una idea de las diferencias en el consumo por persona de combustibles comerciales (excluyendo los combustibles biológicos tradicionales, como madera o estiércol) que se producen en distintas partes del mundo, baste decir que, mientras en Norteamérica cada persona consume, por término medio, unas 8 Tep al año, en la Unión Europea (UE), esa cifra se reduce a 3.5 Tep, y a 4 Tep en Rusia, mientras que en el resto del mundo la media por persona apenas supera las 0.5 Tep. La Figura I.3 da una idea del consumo de energía, basada en combustibles comerciales (excluyendo biomasa), por persona en diferentes partes del mundo.

Figura I.3. Consumo de combustibles comerciales (excluyendo biomasa) por persona, en diversas zonas del mundo y en el conjunto del mundo, en años diferentes.



En cuanto al origen de la energía primaria consumida, 131 EJ (33% ó 3200 Tep) provienen de la combustión de petróleo, 91 EJ (22.8% ó 2200 Tep) de la combustión de carbón, 75 EJ (18.8% ó 1800 Tep) de la combustión de gas natural, 55 EJ (13.8% ó 1300 Tep) de la biomasa, 24 EJ (5.9% ó 561 Tep) son de origen hidroeléctrico y 22 EJ (5.6% ó 532 Tep) de origen nuclear. Las cifras en Tep, toneladas equivalentes de petróleo expresan el número de toneladas de ese combustible que hubiera sido preciso quemar para producir las correspondientes cantidades de energía. Hay que recordar, además, que el prefijo E (exa) sustituye a la potencia  $10^{18}$ , es decir se corresponde con trillón.

Las cifras anteriores explican porqué se están produciendo problemas de contaminación y agotamiento de las reservas de combustibles fósiles. Los países más desarrollados tratan de superar el problema de la carestía de la energía recurriendo a procedimientos en el uso de la misma que permitan incrementar la eficiencia en su conversión. Sin embargo, las legítimas aspiraciones de países menos desarrollados a una convergencia en el consumo energético con los países industrializados dan lugar a una exacerbación de los problemas antes apuntados. De que ello es así, da cuenta el hecho de que, el rápido desarrollo mostrado por los dos países más poblados de la Tierra, India y China, está coincidiendo con una subida desmesurada de los precios del petróleo, atribuible, entre otros motivos, al crecimiento de la demanda de este combustible fósil por parte de ambos países.

Tratando de prever cual pueda ser la situación en años venideros, se han supuesto diferentes *modelos hipotéticos de desarrollo* (lo que se denominan *escenarios*), *de la sociedad* a diversas escalas, nacional, europea y mundial, que permiten hacer estimaciones más o menos aproximadas sobre el consumo energético en diversos plazos de tiempo. Por ejemplo, uno de estos cálculos o escenarios, predice para 2025 una población, en los denominados países desarrollados, de unos 1400 millones de habitantes, los cuales consumirían al año, en total, 167 EJ de energía primaria, lo cual equivale a:  $167 \times 10^{18} \text{ J año}^{-1} / 1.4 \times 10^9 \text{ habitantes} = 120 \times 10^9 \text{ J/habitante año} = 120 \text{ GJ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , lo cual equivale a una potencia por habitante que se calcula así:

$$\text{Potencia por habitante} = \frac{120 \times 10^9 \text{ J año}^{-1} \square \text{a b i t a n t e}^{-1}}{3.6 \times 10^6 \text{ J kWh}^{-1} \times 24 \text{ h día}^{-1} \times 365 \text{ días año}^{-1}} = 3.8 \text{ kW habitante}^{-1}$$

O bien:  $3.8 \text{ kW hab}^{-1} \times 1400 \times 10^6 \text{ hab} = 5.32 \times 10^{12} \text{ W} = 5.32 \text{ TW}$  (donde la letra T = tera, sustituye a la potencia  $10^{12}$ , es decir tera equivale a un billón). Hay que comparar estos 3.8 kW con el consumo doble de potencia de 7.5 kW por habitante y año del año 1990, lo cual supone ritmo de consumo de energía por habitante y año que sería la mitad en 2025 de la que fue en 1990. Estas cifras aparecen resumidas en la Tabla I.1.

*Tabla I.1*  
*Incrementos del uso de la energía asociados a aumentos de la población.*

| <b>Año</b>                  | <b>Población<br/>(x 10<sup>9</sup>)</b> | <b>Uso total<br/>de energía<br/>(EJ/año)</b> | <b>TW</b> | <b>Uso de energía<br/>por persona<br/>(GJ/año)</b> | <b>Uso de energía<br/>por persona<br/>(kW)</b> |
|-----------------------------|---|--|-----------|--|--|
| 1990 (países desarrollados) | 1.2                                     | 284  | 9.0       | 237  | 7.5  |
| 1990 (países en desarrollo) | 4.1                                     | 142  | 4.5       | 35   | 1.1  |
| 1990 (mundo)                | 5.3                                     | 426  | 13.5      | 80   | 2.5  |
| 2025 (países desarrollados) | 1.4                                     | 167  | 5.3       | 120  | 3.8  |
| 2025 (países en desarrollo) | 6.8                                     | 473  | 15.0      | 69   | 2.2  |
| 2025 (mundo)                | 8.2                                     | 640  | 20.3      | 78   | 2.5  |

Predicciones análogas, llevadas a cabo para el caso de los países en desarrollo, llegan a cifras de población de unos 6800 millones de habitantes en el año 2025, con un consumo global de energía primaria de 473 EJ, correspondientes a 69 GJ por persona y año ó 2.2 kW por persona. Las cifras referidas a todo el mundo serían 8200 millones de habitantes en 2025, que consumirían un total de 640

EJ de energía primaria al año, equivalentes a 78 GJ por persona y año o un promedio de 2.5 kW por persona.

#### 4.1. Estrategias nacionales para el abastecimiento energético.

Aunque los cálculos sobre las necesidades energéticas se llevan a cabo de manera global, cada país o grupo de países pueden adoptar estrategias diferentes para resolver el problema del abastecimiento energético nacional. Un país como *Francia*, que no dispone de yacimientos de combustibles fósiles extensos, pretende, como todos los que se encuentran en la misma situación, sustituir la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles por *plantas hidroeléctricas y nucleares*. En el momento presente, este país genera el 75% de su electricidad en plantas nucleares y el 20% en centrales hidroeléctricas. Este es el mayor porcentaje de generación de electricidad por una nación en el mundo. Normalmente, su demanda interna no llega a ser suficiente para igualar su capacidad de generación de electricidad, por lo que es un país tradicionalmente exportador de esta forma de energía. Solo en el caso de exceso de demanda puede llegar a importar electricidad de España (a quien normalmente exporta en casos de exceso de demanda) gracias a que las redes de transporte están enlazadas entre sí.

Una estrategia diferente se ha adoptado en *Dinamarca*, en que se decidió no producir electricidad a partir de plantas nucleares. Eso la hizo dependiente del petróleo. Sin embargo, a partir de los años 70 del siglo pasado, transformó las plantas térmicas con petróleo como combustible, en otras en las que se usa carbón como combustible, de tal manera que el 90% de la electricidad se genera a partir de carbón y el resto lo importa de las plantas hidroeléctricas existentes en Noruega y Suecia.

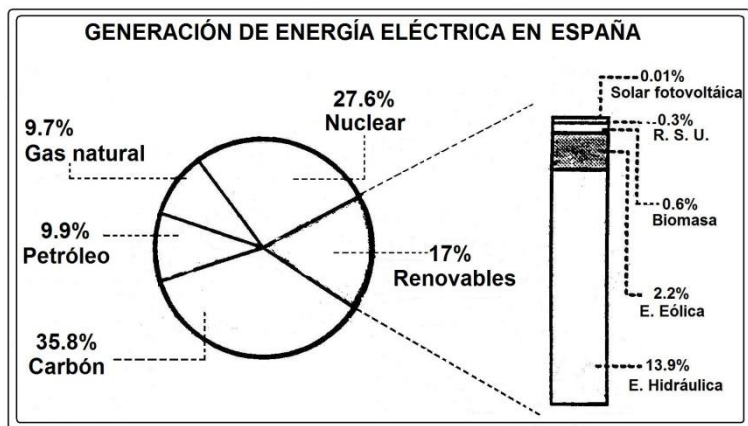
En el *Reino Unido*, la política energética viene también condicionada por los recursos que posee. En este caso se trata de un país que dispone de amplias reservas de *carbón, petróleo y gas natural*, lo que le convierte en un *país autosuficiente* desde el punto de vista energético, e, incluso, en exportador neto de energía. De la capacidad total de generación de este país, que asciende a 61.3 GW, 30 GW se producen a partir de centrales térmicas de carbón, unos 15 GW de centrales de petróleo, gas y mixtas, 10 GW de plantas nucleares y el resto a partir de hidroeléctricas, turbinas de gas y otros procedimientos.

En *España* se ha duplicado el ritmo de consumo de energía en los últimos 25 años, en que se pasó de 68 Mtep en 1978 a 136 Mtep en 2003. Además, el consumo de energía per cápita es menor que la media de la UE y se produce un crecimiento de la intensidad energética, es decir, de la *relación entre el consumo de energía y el Producto Interior Bruto (PIB) medido en moneda constante y que se expresa en tep/miles de €*. La dependencia energética del exterior es superior al 75%, lo que genera elevados déficits comerciales y además entraña un riesgo político. Según el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), en España se consumieron en el año 2004, *141.6 Mtep*, equivalentes a 5.95 EJ en energía primaria (el factor de conversión de Mtep en EJ (Tabla I.2) es 0.042 EJ/Mtep. Por lo tanto:  $141.6 \times (0.042 \text{ EJ/Mtep}) = 5.95 \text{ EJ}$ ). Frente a los 400 EJ mundiales, esta cifra implica el 1.48% del consumo mundial anual de energía por el 0.68% de la población mundial (44 millones frente a 6500 millones). Los 5.95 EJ equivalen a 1650 TWh ( $5.95 \text{ EJ} \times (278 \text{ TWh/EJ})$  (valor de la Tabla I.2) = 1654 TWh; T = tera = 1 billón =  $10^{12}$ ), de los cuales 200 TWh, es decir, 200000 millones de kWh, se consumen en forma de energía eléctrica (equivalentes a unos 5000 kWh de electricidad por habitante y año). En 2003 el consumo de energía primaria en España provino en un 50.3% del petróleo, 15.8% del gas natural, 15.2% del carbón, 11.9% de plantas nucleares y el 6.8% de energías renovables, incluida la generación hidroeléctrica. La participación de los distintos tipos de energías renovables se desglosó como sigue: 2.9% a partir de biomasa, 2.5% hidráulica, 0.8% eólica, 0.2% biogas, 0.2% Residuos Sólidos Urbanos (RSU), 0.1% biocarburantes, y un total de 0.042% en solar-térmica, geotérmica y fotovoltaica. En cuanto a la generación de los 200000 millones de kWh de energía eléctrica que se consumen al año, 35.8% del total se genera en centrales térmicas de carbón, 9.9% en centrales térmicas de petróleo, 9.7% en centrales térmicas de gas natural, 27.6% en centrales



nucleares, el 14% a partir de energía hidráulica y el 3% restante a partir de la combustión de RSU (0.3%), biomasa (0.6%), eólica (2.2%), y solar fotovoltaica (0.01%). La Figura I.4 muestra un diagrama resumido de la forma en que se genera energía eléctrica en España.

Figura I.4. Generación de energía eléctrica en España.



## 5. FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA. AHORRO ENERGÉTICO.

Con el fin de comprender mejor como se utiliza la energía, lo que facilitaría hacer un uso más racional de la misma, y para conseguir que las energías renovables se apliquen del modo más eficiente, hay que observar en que forma y con que fines se consume la energía en las sociedades desarrolladas.

Las actividades de los seres humanos suelen dividirse *en cuatro sectores diferentes*, cada uno de los cuales contribuye al consumo de energía en proporciones que varían de uno a otro país, dependiendo de su clima, de su desarrollo industrial, o de sus costumbres.

Estos sectores o áreas son:

*Sector transporte*, en el que está incluida la energía consumida por los transportes por carretera, ferrocarril, aéreo y fluvial y marítimo, tanto público como privado, o para mercancías o pasajeros.

*Sector doméstico* que comprende el gasto energético atribuible a las viviendas privadas.

*Sector comercial e institucional* en el que se consideran los gastos energéticos atribuibles a edificios gubernamentales, universidades, colegios, escuelas, hospitales, tiendas, restaurantes, almacenes comerciales, supermercados, edificios religiosos, etc.

*Sector industrial* en el que se contabiliza la energía empleada en procesos de fabricación, industrias del hierro y el acero, cementeras, industrias alimentarias, químicas, de construcción, y usos agrícolas.

Hay que distinguir entre la *energía primaria* y la *energía suministrada*. La energía eléctrica que le llega al consumidor a través de la red eléctrica es energía suministrada, mientras que la cantidad total de combustible que ha sido preciso quemar en una central térmica para generar esa electricidad sería la energía primaria. La energía suministrada a un consumidor se puede emplear en diversos procesos, cada uno de los cuales transcurre con una determinada eficiencia, por lo que, de la energía suministrada, solamente una fracción se convierte en *energía útil*. La energía primaria se origina a partir de carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear, biomasa, centrales hidroeléctricas y energías renovables, que contribuyen con distintos porcentajes, según el sector y el país que se considere.

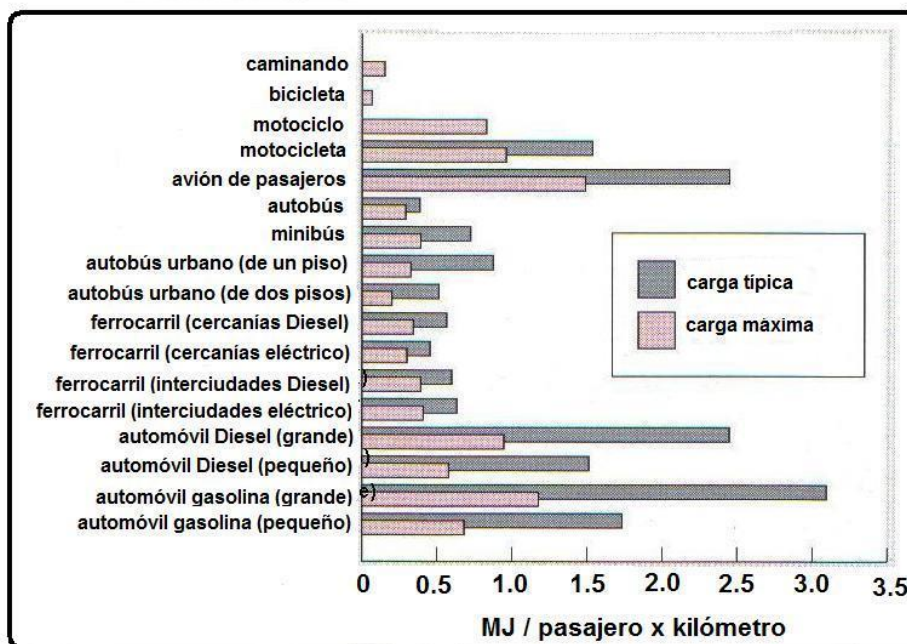


En España en el año 2004 los sectores industrial y de transporte representaron, cada uno de ellos, un 36% del consumo final de energía, mientras que los sectores doméstico y comercial e institucional se repartieron el 28% restante.

El *sector transporte* por carretera en los países desarrollados da lugar a un gasto energético cada vez más gravoso, teniendo en cuenta la escalada que se viene produciendo en los precios del petróleo. Del total del gasto energético en transporte, alrededor de un 75% se produce por transporte en carretera y de este un 75% proviene del consumo de los automóviles privados. La energía que es útil en el sector transporte, es la cinética, la cual es producida a partir de la transformación en motores de explosión, del calor generado en la combustión de derivados del petróleo, en energía de expansión de gases, y de la posterior conversión de esta energía en energía mecánica. El rendimiento del proceso global apenas supera el 10%. La razón que explicaba porque se utilizan derivados del petróleo, es que eran baratos, y, además, que son combustibles caracterizados por una elevada *densidad energética*, que se *almacenan* con facilidad y sin riesgos elevados y que se encuentran *disponibles* en redes de distribución amplias. (*La densidad energética se mide en unidades energéticas por unidad de masa, por ejemplo kWh/kg, o MJ/kg, e indica la cantidad de energía que se transporta con cada kg de combustible. Una gran densidad energética significa que hay que consumir menos energía en el desplazamiento de la masa de combustible necesaria para el transporte*).

Es interesante tener una idea de la eficiencia energética que se consigue usando diversos tipos de vehículos y que viene resumida en la Figura I.5.

Figura I.5. Eficiencia energética de distintas formas de transporte.



La máxima eficiencia se logra caminando, actividad en la que se ha estimado se consumen 0.2 MJ/persona km. En bicicleta se alcanzan 0.1 MJ/persona km. Un avión de pasajeros a carga máxima gasta una media de 1.5 MJ/pasajero km y a carga típica hasta 2.5 MJ/pasajero km, un autobús lleno 0.3 MJ/pasajero km y a carga media 0.4 MJ/pasajero km, y un automóvil pequeño 1.2 MJ/pasajero km si va lleno, o 1.8 MJ/pasajero km con solo el conductor. Estas cifras ponen de manifiesto el gran ahorro energético que se podría conseguir con meros cambios en los comportamientos sociales, como podrían ser compartir automóviles, incrementar el uso del transporte público, caminar más o usar con mayor frecuencia la bicicleta.

Para rebajar estos consumos se invierte mucho dinero en encontrar materiales ligeros y resistentes y en mejorar las condiciones aerodinámicas de los vehículos. Otros procedimientos menos utilizados, son el uso de transmisiones que cambian de modo continuo con el fin de mantener a los motores funcionando a la velocidad óptima, y, últimamente, la utilización de motores híbridos combustible- eléctricos con recuperación de la energía durante el proceso de frenado.

*Un análisis de los usos energéticos en el sector transporte* permite un cierto grado de optimismo, teniendo en cuenta los continuos avances que se vienen realizando en la consecución de mejores rendimientos y disminución de pérdidas. Otra cuestión es que *el ahorro energético en cualquier sector va asociado a cambios en los usos sociales*, como un uso frecuente del transporte público, tratar de compartir de automóviles, usar más bicicletas y caminar.

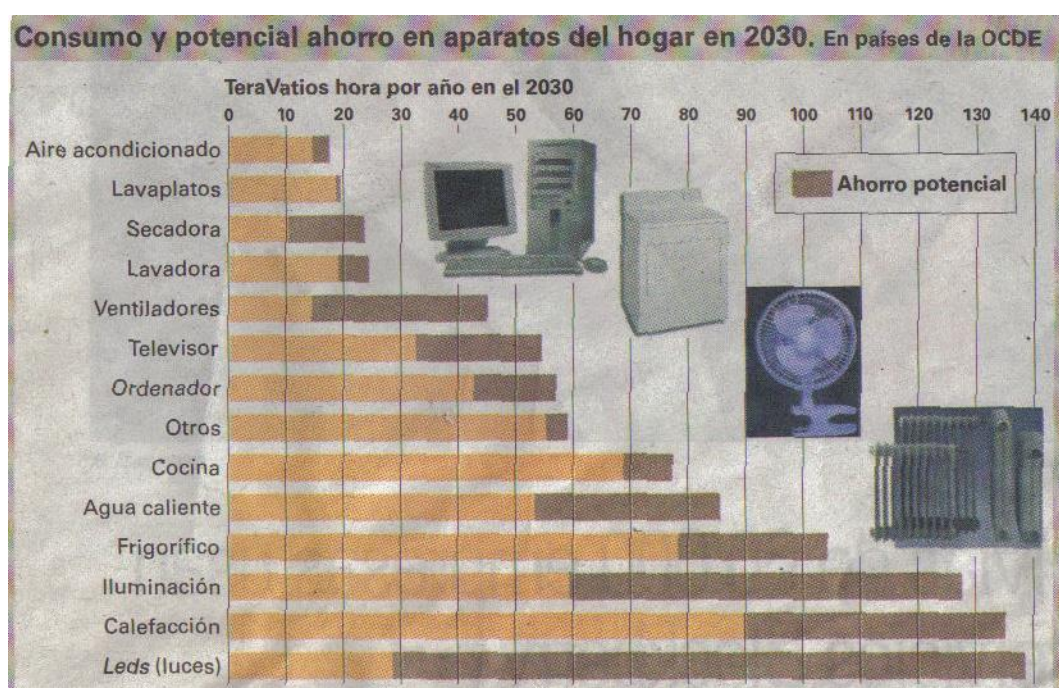
Una parte importante de la factura energética en países desarrollados proviene del *sector doméstico*. En las viviendas la energía se utiliza en calefacción, agua caliente, cocina, iluminación, y aparatos eléctricos. Se estima que alrededor del 85% de la energía usada en el sector doméstico, lo es en forma de calor de baja temperatura (por debajo de los 80 °C). Para obtener este calor se recurre a la combustión de combustibles fósiles, lo que es más razonable que hacerlo a partir de electricidad. Como ya se explicó previamente, una parte muy importante de la electricidad se produce en centrales térmicas, a partir de combustibles fósiles. El proceso de transformación que tiene lugar en dichas centrales, apenas si es capaz de aprovechar el 40% de la energía total contenida en los combustibles, por lo que la energía eléctrica que luego se utiliza, ya solo contiene esa proporción, o menor, si se tienen en cuenta las pérdidas que se producen en el transporte a través del tendido eléctrico. Por otra parte, se transforma una energía de elevado grado termodinámico en otra de grado mínimo (calor de baja temperatura).

En el *sector doméstico*, las máximas posibilidades de *ahorro* en el consumo energético se consiguen *perfeccionando los sistemas de aislamiento térmico* en la construcción de los edificios y *diseñando los edificios* de nueva construcción atendiendo a las normas de la denominada *arquitectura bioclimática*, es decir, teniendo en cuenta la *orientación* de las distintas habitaciones con respecto al sol y *evitando la exposición de los cuartos más utilizados a vientos dominantes y a las sombras proyectadas por otros edificios, árboles, etc*, así como *incorporando elementos que contribuyan a la calefacción pasiva* y teniendo en cuenta cualquier contribución a la calefacción, incluidas las aportaciones provenientes del calor corporal. También pueden conseguirse *mejoras en la eficiencia de los quemadores y calentadores*. La eficiencia de un calentador eléctrico es máxima, medida en términos de la electricidad que se transforma en calor, que es prácticamente el 100% en cuanto a energía suministrada, pero es muy pequeña en términos de la energía primaria que realmente es consumida en el proceso global. En este sentido, la fórmula más eficiente es la de generación combinada de calor y electricidad, usando para calefacción y agua caliente el calor de desecho de una central térmica, adaptando así el grado termodinámico de cada tipo de energía a un uso más racional.

También se pueden lograr ahorros significativos en los sistemas de *iluminación*. Para ello se debe tratar de sustituir las lámparas incandescentes tradicionales por tubos fluorescentes, o lámparas halógenas, de menor consumo y más duraderas. Finalmente, una mejora en el aislamiento de refrigeradores, hornos y congeladores puede también contribuir a disminuir el consumo de energía.

En la Figura I.6 pueden verse algunas estimaciones llevadas a cabo sobre el consumo y el ahorro potencial en aparatos domésticos en países de la OCDE en el año 2030.

Figura I.6. Estimaciones sobre el consumo y ahorro potencial en aparatos domésticos en países de la OCDE en 2030.



Los sectores comercial e institucional muestran una distribución del gasto energético parecida a la que se produce en el sector doméstico. Aquí, la mayor parte de la energía es utilizada para calefacción, iluminación, aparatos y equipos eléctricos, aire acondicionado, agua caliente y en edificios como hospitales, universidades, etc, incluso en cocinas.

Una revisión racional de cómo se producen los gastos energéticos en este sector pone de manifiesto que no resultaría difícil reducirlos hasta en un 50%. Debe ponerse en énfasis en el aislamiento del edificio y en evitar corrientes de aire. También merece la pena prestar atención a la eficiencia del quemador y del calentador en sistemas de calefacción central. Otro tipo de medidas de ahorro pueden consistir en controlar los sistemas de ventilación, tratando de introducir procedimientos de recuperación del calor del aire antes de proceder a cambiarlo.

En cuanto al sector industrial, un gasto muy importante suele hacerse en forma de *calor de alta temperatura*, para llevar a cabo diversos tipos de procesos, por ejemplo en las industrias del hierro y el acero y en industrias químicas. También se hace uso de energía motriz para trasladar objetos, dar forma, tornos, etc. Además, se producen gastos análogos a los analizados en los sectores doméstico y comercial e institucional, como son los de calor de baja temperatura, para procesos de secado, calefacción y agua caliente, iluminación, aparatos eléctricos, cocinado. En las industrias de productos químicos y plásticos se produce también un gasto importante de combustibles fósiles como materia prima para la obtención de dichos productos.

Los procesos industriales exigen la utilización de calor de muy diversos grados termodinámicos y es, precisamente en este sector, donde se suele prestar mayor atención a consideraciones sobre la eficiencia en el uso, recurriendo a plantas de suministro de electricidad y de calor de desecho que puedan satisfacer las necesidades de la correspondiente fábrica.

Las estrategias de ahorro energético en el sector industrial pueden ir, desde trabajar con motores, controles y mecanismos más eficientes, a realizar estudios de tiempos y movimientos que eliminen espacios de desplazamiento, a sustituir procesos en muchas etapas, caracterizadas por consumir energía, por otros más directos, con menos etapas y menos energía, a buscar rendimientos

próximos al óptimo y un mayor uso de tecnologías combinadas de producción de electricidad y energía calorífica, así como de sistemas de recuperación de calor.

*Ejemplo.* (a). En España se produce energía eléctrica a un ritmo de 114 GW. Si el consumo total fuera igual a la producción: ¿cuánta energía, expresada en EJ, se consumiría? (b). Si cada vivienda mantuviera sus gastos energéticos en un consumo anual de 1000 m<sup>3</sup> de gas natural y de 3000 kWh en forma de electricidad y, suponiendo que el número aproximado de viviendas en España fuera de 13 millones, hágase un cálculo de la energía que se gasta en el sector doméstico. (c) ¿Qué porcentaje del gasto total nacional de energía procede del sector doméstico?. (d). A qué porcentaje del consumo mundial de energía corresponde el consumo de España?. (El poder calorífico del gas natural es de 38.4 MJ m<sup>-3</sup> a la presión de suministro).

*Respuesta.* (a). Consumo anual de energía en España = Potencia x tiempo = 114 GW x 10<sup>9</sup> W (GW)<sup>-1</sup> x 1 J (W s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> x 1 año x 365 días año<sup>-1</sup> x 24 h día<sup>-1</sup> x 3600 s h<sup>-1</sup> = 3.6 x 10<sup>18</sup> J año<sup>-1</sup> = 3.6 EJ año<sup>-1</sup> (E = exa = 10<sup>18</sup>).

(b). Gasto anual en electricidad por vivienda = 3000 kWh año<sup>-1</sup> x 3.6 MJ kWh<sup>-1</sup> = 10.8 x 10<sup>3</sup> MJ año<sup>-1</sup> = 10.8 GJ año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup>.

Gasto anual en gas natural por vivienda = 1000 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup> x 38.4 MJ m<sup>-3</sup> = 38.4 GJ año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup>.

Energía total anual por vivienda = 10.8 GJ año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup> en electricidad + 38.4 GJ año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup> en gas natural = 49.2 GJ año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup>.

Gasto total anual en el sector doméstico = 49.2 GJ año<sup>-1</sup> vivienda<sup>-1</sup> x 13 x 10<sup>6</sup> viviendas = 640 x 10<sup>6</sup> GJ año<sup>-1</sup> = 0.64 x 10<sup>18</sup> J año<sup>-1</sup> = 0.64 EJ.

(c). Porcentaje del consumo nacional total anual en el sector doméstico =  $\frac{0.64 \text{ EJ año}^{-1}}{3.6 \text{ EJ año}^{-1}} \times 100 \cong 18 \%$

(d). Porcentaje del total mundial de la energía consumida en España:  $\frac{3.6 \text{ EJ año}^{-1}}{400 \text{ EJ año}^{-1}} \times 100 \cong 0.85 \%$

*Ejemplo.* (a). Una determinada batería de automóvil, cuando se encuentra al máximo de su carga, puede suministrar 40 A h. Calcúlese en Julios y en kWh la cantidad de energía que puede liberar, y, suponiendo que tenga una masa de 10 kg, su densidad de energía. (b). Los vehículos eléctricos utilizan baterías en vez de gasolina, como fuente de energía. Calcúlese cuántas baterías serían necesarias para almacenar la misma cantidad de energía que suministran 40 litros de petróleo (el poder energético de 1 litro de petróleo es de 36 MJ).

*Respuesta.* (a). Una batería de plomo suministra corriente eléctrica a una diferencia de potencial de 12 V. Por lo tanto, la energía en J a que equivalen los 40 A h es:

1 A x 40 h x 3600 s h<sup>-1</sup> x 12 V x (1 W / (V A)) x (1 J s<sup>-1</sup> / W) = 1728000 J = 1.73 MJ / 3.6 MJ kWh<sup>-1</sup> = 0.48 kWh.

La densidad energética de esta batería sería:  $\rho_{\text{batería}} = \text{Energía} / \text{Masa} = 0.48 \text{ kWh} / 10 \text{ kg} = 0.048 \text{ kWh kg}^{-1}$ , es decir, menos de la tercera parte de la densidad de energía máxima en este tipo de baterías, que es de 0.171 kWh kg<sup>-1</sup>.

(b). Energía contenida en 40 litros de petróleo = 36 MJ l<sup>-1</sup> x 40 l = 1440 MJ.

Número de baterías que suministran la misma energía que 40 l de petróleo:

$$n = \frac{1440 \text{ MJ}}{1.73 \frac{\text{MJ}}{\text{batería}}} = 832 \text{ baterías} \quad \text{!} \times 10 \frac{\text{kg}}{\text{batería}} = 8320 \text{ kg}$$

En 8320 kg se desplaza la misma energía que en: 40 l x 0.86 kg l<sup>-1</sup> = 34.4 kg de petróleo.

## **6. PROBLEMAS ORIGINADOS POR LOS USOS ENERGÉTICOS DE LA SOCIEDAD ACTUAL.**

El consumo exponencialmente creciente de combustibles fósiles ha desencadenado gran cantidad de problemas, que continuamente dan lugar a titulares en medios de comunicación y que afectan de manera esencial las vidas de los habitantes del mundo. Esos problemas pueden clasificarse en tres categorías, que, estrictamente hablando, están relacionadas entre sí: en primer lugar, *problemas medioambientales*, como el *calentamiento global* debido, aparentemente, al *efecto invernadero* creciente provocado por el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que se viene produciendo desde que comenzó la revolución industrial. También la *lluvia ácida* y la *contaminación de grandes núcleos de población* son cuestiones que se clasifican en este apartado.

Una segunda categoría de problemas, que, paradójicamente, pueden contribuir a resolver los anteriores son los *problemas de sostenibilidad*. Este tipo de cuestiones, *relacionadas con el agotamiento de las fuentes energéticas tradicionales*, entendiéndose por tales, los *combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural*, son de tanta actualidad como las medioambientales, en el momento presente, y vienen discutiéndose desde los años 70 del siglo pasado, en conjunción con los de agotamiento de las materias primas. Han perdido cierta credibilidad, debido a los fracasos que se produjeron en las predicciones sobre el fin de las reservas de diversas materias primas realizadas por el denominado club de Roma. Desde entonces se han venido produciendo hallazgos de nuevos yacimientos de combustibles fósiles, que exigen una revisión cada cierto tiempo de las reservas comprobadas de que se dispone de los mismos.

Finalmente, se habla de los *problemas sociales y políticos*, a que da lugar la dependencia extrema que padecen, especialmente las sociedades llamadas desarrolladas, con respecto a los combustibles fósiles. La localización de las fuentes energéticas en puntos del planeta muy conflictivos, es la causa de guerras y tensiones continuas, que no se pueden ignorar.

## **7. PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES.**

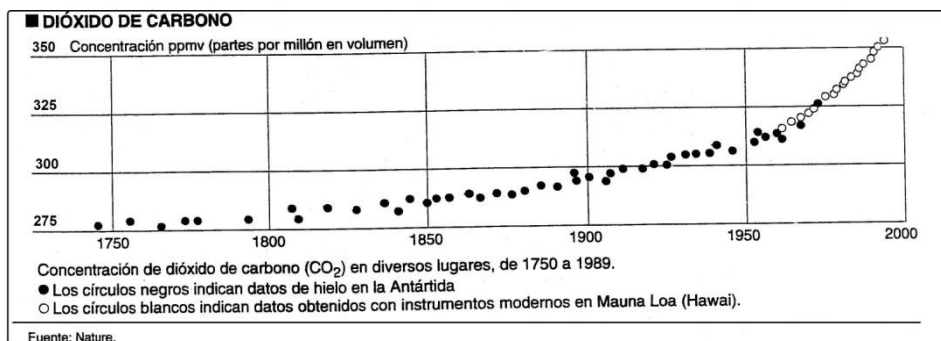
Las primeras interferencias entre la actividad humana y el clima se cree que comenzaron con la transformación de terrenos con vegetación natural en tierras cultivables. Con ello disminuyó la humedad retenida en zonas boscosas y el humus, que retenía la humedad y mantenía la capa fértil, podía ser barrido por los vientos, dando lugar a un incremento de la sequedad. Otras causas desencadenantes del cambio climático pueden encontrarse en el aumento de tierras dedicadas a la construcción y urbanización. También pueden influir en el cambio climático las interferencias con los ciclos hidrológicos y cualquier incremento en la concentración de partículas y de aerosoles en suspensión en la atmósfera.

### ***El efecto invernadero.***

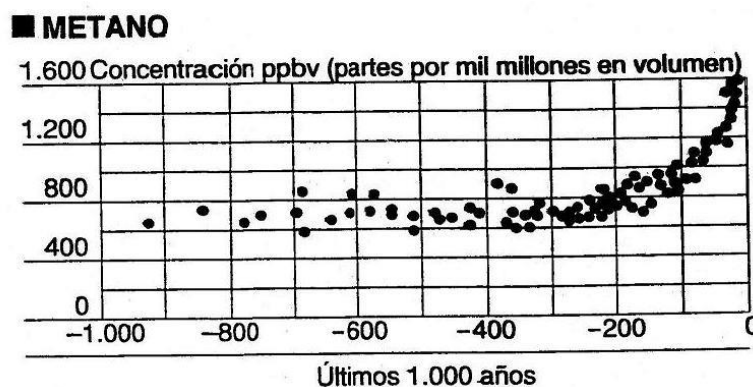
Mediciones llevadas a cabo en las últimas décadas parece que ponen de manifiesto un incremento de la temperatura media global de la atmósfera, fenómeno al que se le da el nombre de "*calentamiento global*". La prueba que se esgrime como más palpable, de que el calentamiento es debido al incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, es que la curva de crecimiento de la temperatura con los años (desde que se hicieron mediciones sistemáticas y fiables) se correlaciona de modo muy aproximado con la curva de crecimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> a lo largo del período de tiempo transcurrido desde la revolución industrial, como puede verse en la Figura I.7.



Figura I.7. Evolución a lo largo del tiempo de la concentración de gases invernadero en la atmósfera.

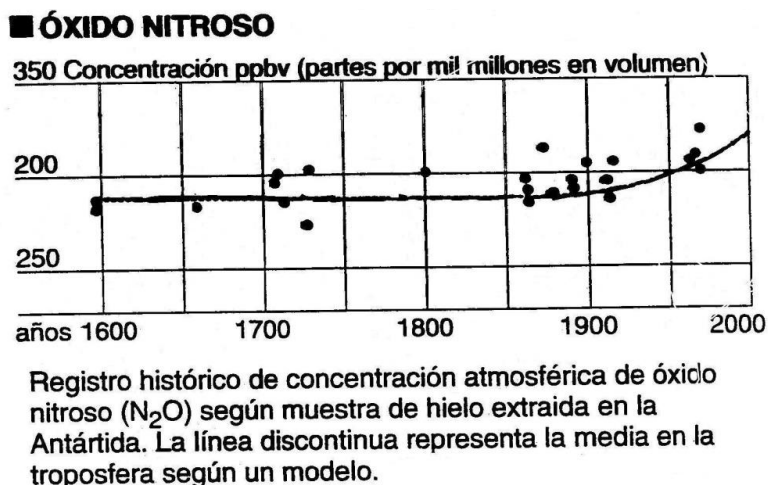


Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera a la largo de los últimos 250 años.



Concentración atmosférica de metano (CH<sub>4</sub>) en los últimos mil años (se ha duplicado en los últimos 200 años).

Evolución de la concentración de metano en la atmósfera a la largo de los últimos mil años.



Se estima que la temperatura media de la atmósfera puede estar creciendo a un ritmo de unos 0.3 °C por década y que dicho crecimiento es causado por un aumento de la concentración de los denominados “gases invernadero”, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y vapor de agua. Todas estas moléculas muestran absorción de radiación en el infrarrojo y actúan como antenas receptoras de esta radiación, ya que la frecuencia de la misma coincide con las diferencias entre los niveles de rotación-vibración en dichas moléculas. De entre las citadas, las moléculas más eficaces a la hora de absorber la radiación infrarroja son las de metano. Se estima que una molécula de metano es capaz de retener tanto calor como treinta de CO<sub>2</sub>. Otros gases componentes de la atmósfera, como oxígeno o nitrógeno están formados por

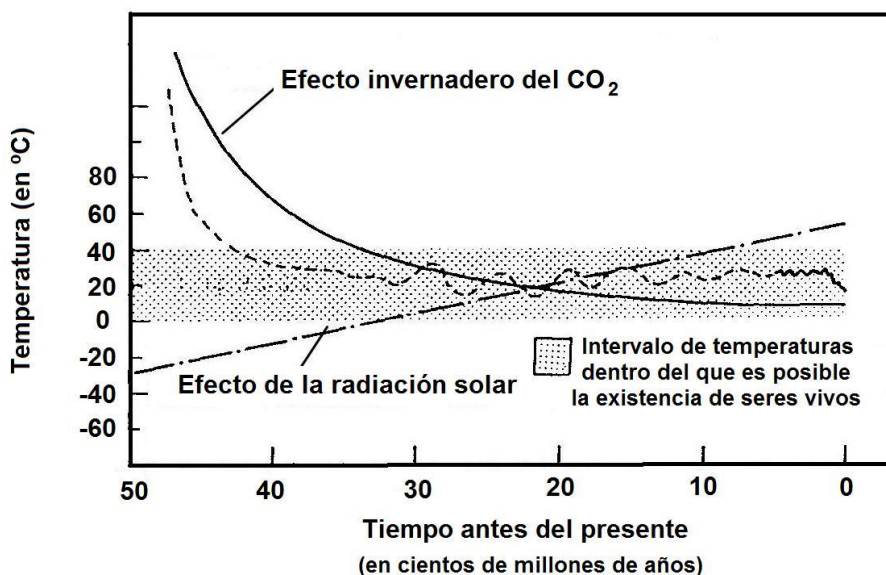
moléculas en las que los enlaces son demasiado fuertes como para que sus niveles cuánticos vibracionales interactúen con los fotones no suficientemente energéticos del infrarrojo.

Se cree que cuando la Tierra se formó, hace unos cuatro mil quinientos millones de años, se rodeó de una atmósfera casi enteramente formada por  $\text{CO}_2$  y con temperaturas por encima de las que podrían soportar las formas de vida conocida. En ella no existía oxígeno libre. Con la aparición de las primeras formas de vida, que fueron las bacterias primitivas, y la posterior de las bacterias fotosintéticas, comenzó un cambio lento, producido a lo largo de miles de millones de años. Las bacterias fotosintéticas absorbían fotones solares, lo que les permitía oxidar al agua a oxígeno y reducir al  $\text{CO}_2$  con el hidrógeno del agua, para generar los carbohidratos de que estaban formadas, a través del proceso denominado fotosíntesis, por medio del que obtenían energía, para desarrollarse y reproducirse. Con ello cambió la situación de modo paulatino. Al disminuir la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera primitiva, disminuyó el efecto invernadero y, con ello, la temperatura, hasta alcanzar, hace unos 3500 millones de años, una temperatura de  $40^\circ\text{C}$  o menor. Al mismo tiempo, como consecuencia del proceso fotosintético, creció la concentración de oxígeno hasta alcanzar el valor existente en la atmósfera actual que es del 21% en volumen.

La concentración de  $\text{CO}_2$  se ha reducido hasta alcanzar el valor existente en el momento actual, de alrededor del 0.035% en volumen, o, lo que es lo mismo, 350 partes por millón. Estas condiciones, junto a una temperatura media oscilante entre 0 y  $40^\circ\text{C}$ , se han mantenido durante 3500 millones de años, permitiendo la vida en diferentes formas, y su evolución. El medioambiente global, que representa un oasis en el espacio, ha sido creado por la coincidencia fortuita en dirección y velocidad, de dos procesos: (a). Evolución del Sol, con un incremento continuo de radiación. (b). Decrecimiento en la velocidad de desgasificación del manto superior de la Tierra. La Figura I.8 muestra un esquema del mecanismo físico por medio del cual el medioambiente se ha preservado a lo largo de miles de millones de años, con unas características aptas para que en él sea posible la vida.

Se supone que el descenso de la temperatura de la Tierra provocado por la reducción del efecto invernadero asociada a la incorporación del  $\text{CO}_2$  se ha compensado, aproximadamente, por un incremento continuo de la emitancia solar a un ritmo de  $7^\circ\text{C}/1000$  millones de años.

*Figura I.8. Mecanismo físico que ha preservado las condiciones medioambientales dentro de un intervalo de valores que ha permitido la existencia de vida sobre la Tierra a lo largo de los últimos 3500 millones de años.*



Las formas de vida alternativas utilizaban los carbohidratos sintetizados por las bacterias fotosintéticas como combustibles y fuentes de energía por reacción con oxígeno, para regenerar parte



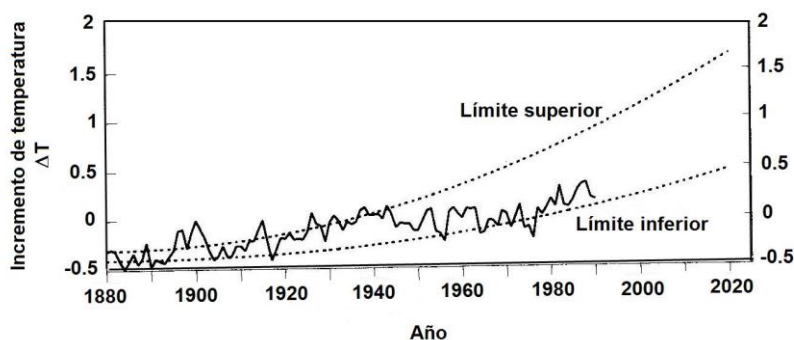
del CO<sub>2</sub> previamente utilizado por las bacterias. El CO<sub>2</sub> formado entraba en un ciclo, del que formaba parte su disolución en aguas marinas y la formación de carbonatos en los esqueletos de los corales, que emergieron a lo largo de procesos geológicos. Parte de las distintas formas de vida, fundamentalmente vegetales, quedaron enterrados y sufrieron procesos desde hace unos 300 millones de años, dando lugar a la formación de los depósitos de combustibles fósiles. Estos depósitos contienen carbono procedente del CO<sub>2</sub>, que entonces fue retirado por las plantas de la atmósfera y que en la actualidad está siendo devuelto a la atmósfera como consecuencia de los procesos de combustión que se utilizan para liberar energía.

Un calentamiento moderado de la atmósfera terrestre no amenaza la existencia de la vida en general, pues siempre podrían existir bacterias y formas primitivas de vida capaces de adaptarse a las nuevas condiciones, pero si que pone en peligro la supervivencia de muchas especies de animales y plantas que han necesitado millones de años para adaptarse a un clima y una temperatura como la que existe en el momento presente.

Como se verá en un capítulo posterior la temperatura de la biosfera es el resultado de un equilibrio entre la radiación incidente, que procede del Sol y cuyo espectro corresponde al que presentaría la radiación emitida por un cuerpo negro a unos 6000 K (en que el máximo del espectro se da a frecuencias relativamente elevadas de luz visible), y la radiación emitida por la Tierra al espacio. La temperatura media de la biosfera es de unos 15°C, por lo que la Tierra emite radiaciones cuyo espectro correspondería al de un cuerpo negro a esa temperatura, en el que el máximo corresponde a radiaciones de longitud de onda mucho más larga (menos energéticas) correspondientes al infrarrojo lejano. Si la emisividad de la Tierra fuera igual a la unidad, es decir, si todas las radiaciones fueran emitidas, se puede calcular que la temperatura media de la biosfera sería de - 15 °C, es decir, unos 30 grados más baja que la realmente existente. La temperatura de 15 °C se calcula para una emisividad de 0.64, es decir, para una situación en que el 36% de las radiaciones quedan retenidas en las moléculas invernadero, tales como las que forman parte del vapor de agua o las de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, el efecto invernadero ha cooperado en la creación de las condiciones de temperatura y clima a las que están adaptadas las formas de vida hoy en día existentes. Un descenso de la emisividad, que podría venir provocado por un incremento en la concentración de moléculas capaces de crear efecto invernadero (por ejemplo, vapor de agua), daría (o está dando) lugar a un incremento de la temperatura a un ritmo al que no sería posible una adaptación de las diversas formas de vida.

Se tienen datos de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el aire que se han venido produciendo en la atmósfera desde hace unos 160000 años, obtenidos por análisis de las burbujas de aire que han quedado atrapadas en hielos enterrados y cuya datación se puede llevar a cabo.

*Figura I.9. Línea continua: variaciones de la temperatura media de la atmósfera terrestre observadas durante el período de tiempo en el que existen mediciones fiables. Las curvas de puntos muestran las predicciones hechas sobre la evolución del incremento de temperatura partiendo de programas pesimistas (límite superior) y optimistas (límite inferior).*



También pueden estimarse las temperaturas que se dieron en distintos años por la riqueza en el isótopo  $O^{18}$  existente en el agua de precipitación. La presión de vapor del  $H_2O^{18}$  es menor que la del  $H_2O^{16}$  por lo que en años fríos la proporción de las moléculas más pesadas que pasan a la atmósfera es menor, y, por lo tanto, menor será también su proporción en el agua de condensación o precipitación. Este tipo de mediciones y otras, han permitido llevar a cabo correlaciones como las que aparecen en la Figura I.9.

Puede observarse que las curvas de variación, tanto de la temperatura como de la concentración de  $CO_2$  en la atmósfera, (véase Figura I.7), siguen trayectorias crecientes paralelas, al menos desde los 1850 hasta ahora. Las medidas hechas en las burbujas atrapadas en el hielo de los Polos han permitido determinar que hace unos 160000 años la concentración de  $CO_2$  era de 180 ppm (ppm = partes por millón), o del 0.018% en volumen, mientras que en la atmósfera de la época preindustrial era de 280 ppm y en el momento actual de más de 350 ppm. Desde 1960 hasta ahora se ha producido un incremento de 40 ppm, es decir, que, alrededor de la mitad del incremento total detectado desde antes de la revolución industrial se ha producido en los últimos 45 años, y el ritmo actual de crecimiento es de 1.5 ppm por año.

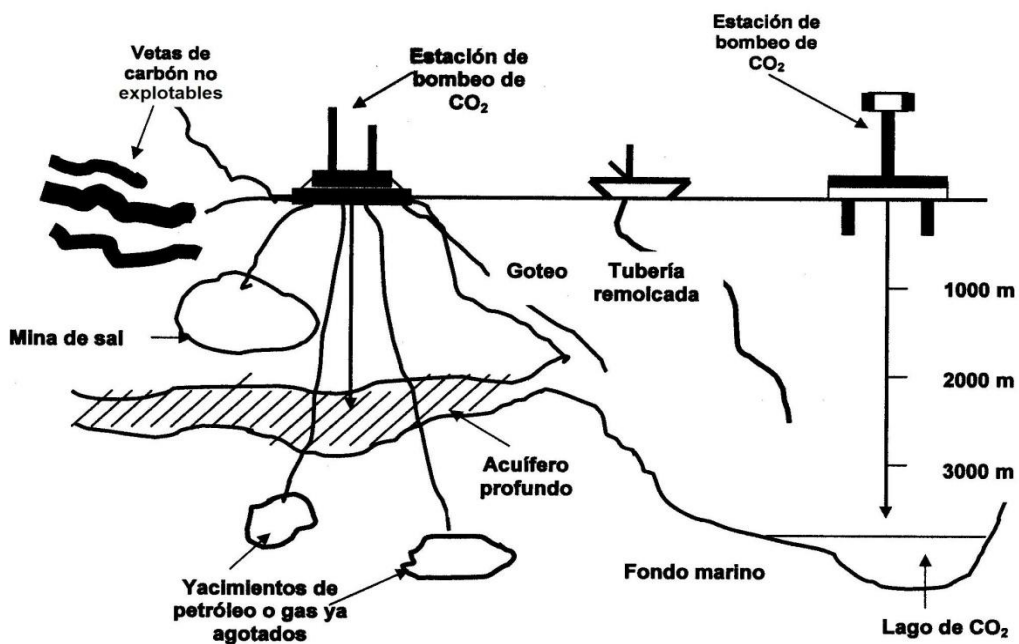
*El metano* es un gas invernadero treinta veces más eficaz que el  $CO_2$ . Es un producto minoritario de las combustiones de biomasa y de carbón y también pasa a la atmósfera por escapes de gas natural, por las deyecciones de animales y a partir de la descomposición de materia orgánica en zonas pantanosas y en campos de cultivo de arroz. También parece que se está liberando metano atrapado en los hielos de la tundra ártica, que se están fundiendo. Últimamente ha podido ser detectado metano en zonas del Amazonas, donde parece que es producido por las propias plantas. La concentración de metano crece según una curva parecida a la del  $CO_2$  (véase Figura I.7 b), y la concentración en la atmósfera actual es de unas 1.7 ppm, por encima de las 0.8 ppm que existían en la época preindustrial. Metano se encuentra también atrapado, en forma de clatratos, en las profundidades de los mares.

### ***Estrategias para la reducción de emisiones de $CO_2$ a la atmósfera.***

A la hora de *reducir las emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera* se han adoptado diferentes estrategias. La más accesible es la que se basa en considerar que, diferentes combustibles producen cantidades distintas de  $CO_2$  por unidad de energía liberada en la combustión. El carbón se convierte casi al 100% en  $CO_2$  (alrededor de 1.06 kg de  $CO_2$  por kWh generado). El gas natural está formado casi totalmente por metano y en su combustión se produce  $CO_2$  y agua. Por lo tanto, genera menos  $CO_2$  por unidad energética producida (alrededor de 0.82 kg por kWh), mientras que la combustión de petróleo da lugar a una cifra situada entre las dos mencionadas. Por lo tanto, en grandes aglomeraciones de población es preferible que los transportes y la calefacción se abastezcan de gas natural, en lugar de cualquier otro combustible.

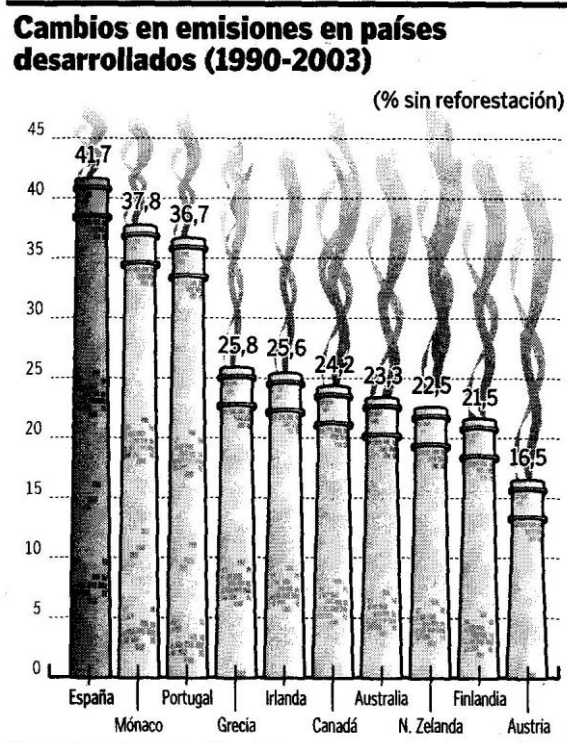
Se han aplicado distintos tipos de estrategias para eliminar al  $CO_2$  de los gases efluentes de la combustión. Como todos estos procesos disminuyen la eficiencia de conversión del calor en electricidad y producen el encarecimiento de cada unidad de energía generada, se está tratando de poner en marcha procesos de *secuestro de dióxido de carbono*, por medio de los que se pretende almacenar al  $CO_2$  en depósitos de origen geológico, como yacimientos de petróleo o de gas natural ya agotados, o en minas de sal, o en acuíferos.

Figura I.10. Sistemas de secuestro de dióxido de carbono.



Otro procedimiento propuesto es formar depósitos de CO<sub>2</sub> inyectando CO<sub>2</sub> hasta profundidades de unos 3000 metros. Un esquema de estos proyectos aún no puestos en marcha puede verse en la Figura I.10.

Figura I.11. Cambio porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> en diversos desarrollados entre los años 1990 y 2003.



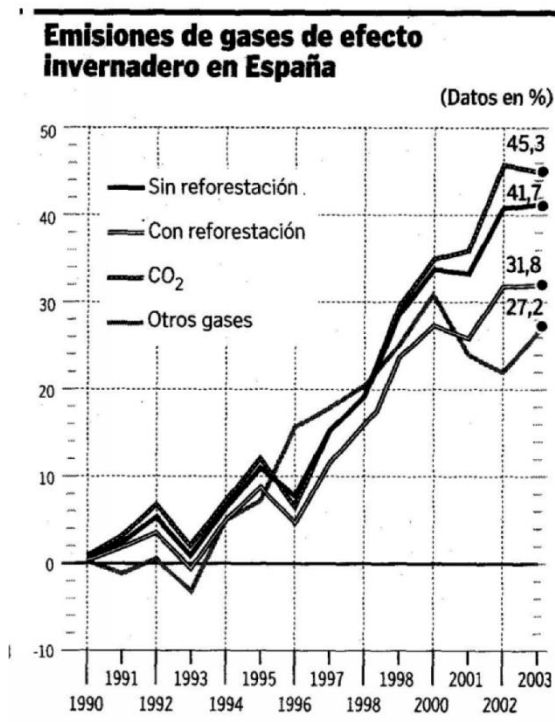


Figura I.12. Incremento porcentual de la emisión de gases invernadero en España a lo largo del período de tiempo comprendido entre 1990 y 2003.

Pese a todos los intentos llevados a cabo para frenar la velocidad de emisión de gases invernadero y para eliminar la máxima proporción del CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera, se ha producido en los últimos años y en diversos países desarrollados un incremento significativo de las emisiones de este gas, como puede observarse en la Figura I.11.

En lo que se refiere a la emisión de gases de efecto invernadero en España, la Figura I.12 muestra el crecimiento porcentual de los mismos entre los años 1990 y 2003, mientras que en la Figura I.13 se puede observar una estimación, válida para el año 2003, de los diversos sectores de la actividad humana que son responsables de dichas emisiones.

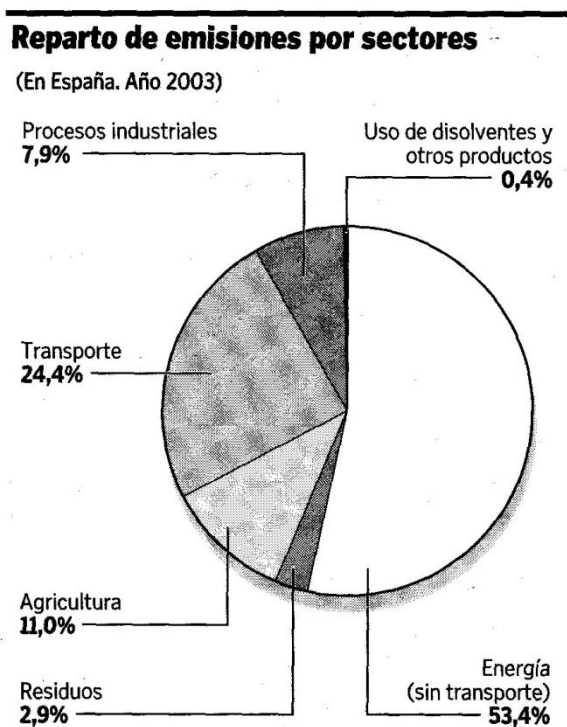
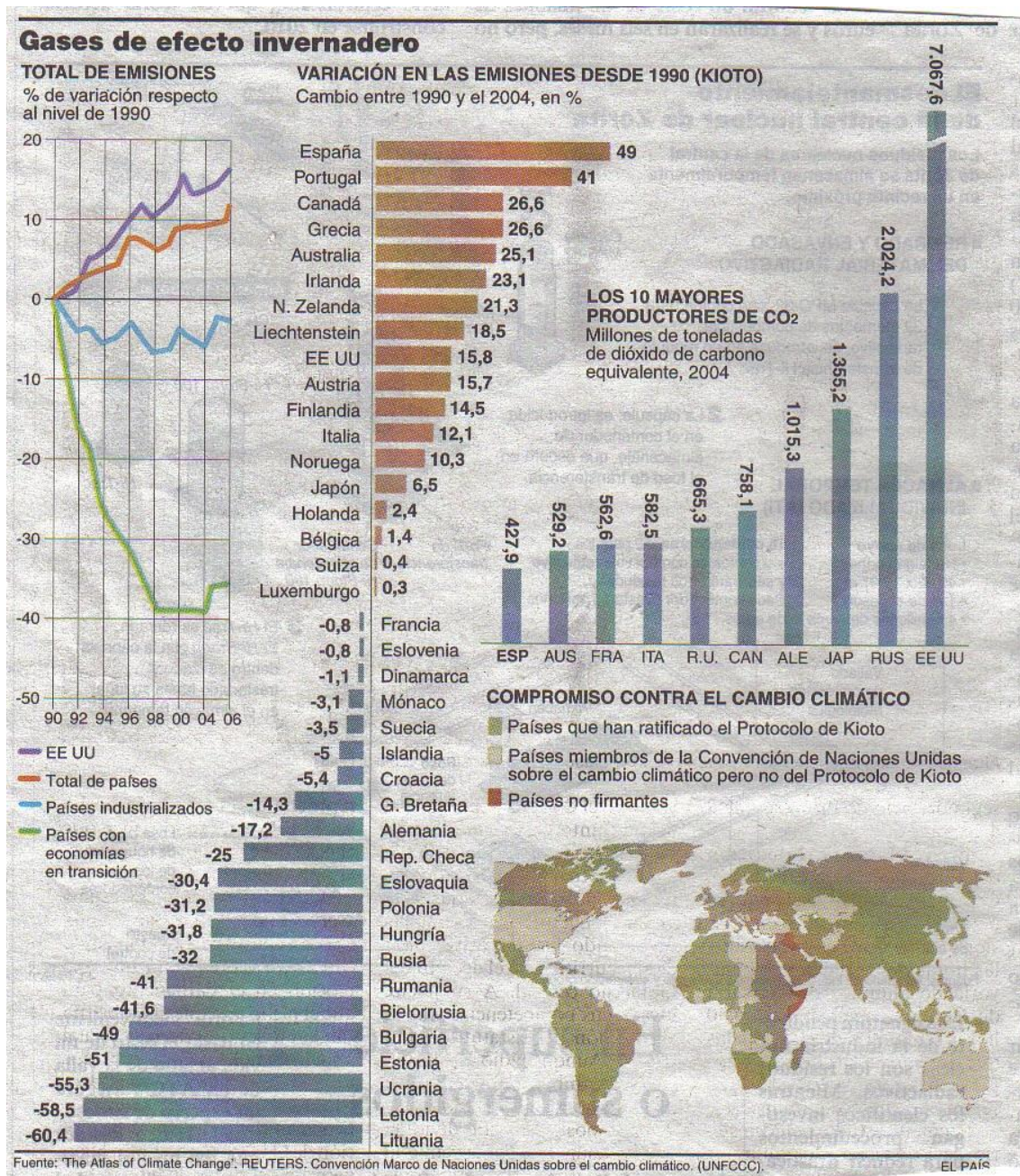


Figura I.13. Reparto de emisiones de gases de efecto invernadero en España en 2003 por sectores de actividad humana.



Una cuestión que queda clara es que el crecimiento de las concentraciones que actualmente se detectan de gases invernadero es el resultado de actividades humanas. No están del todo claras, aún, las auténticas consecuencias que puedan desencadenarse a partir del calentamiento ya constatado.



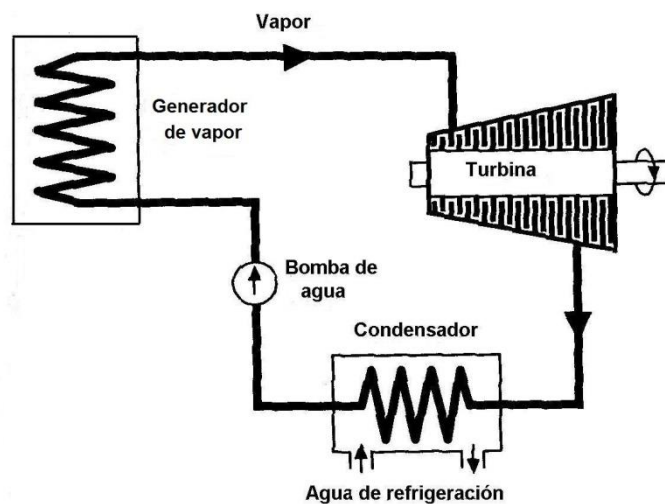
La temperatura media global ha sufrido un incremento irregular de 0.3 a 0.6 grados a lo largo del pasado siglo, lo que ha dado lugar a una recesión observable de los glaciares y a una subida del nivel medio del mar de entre 1 y 2 mm por año. Se han realizado cálculos, basados en modelos matemáticos del clima, en los que se suponía una concentración de gases invernadero que duplicaba la existente en el momento actual, según los cuales, el calentamiento medio global que se predice para 2050 podría ser de entre 1.5 y 4.5 grados por encima de la temperatura media en el momento presente. Asimismo, se predicen menos precipitaciones a lo largo del año y un decrecimiento de la superficie nevada y cubierta de hielo. Los efectos más dramáticos de esos cambios climáticos podrían tener lugar sobre los cultivos agrícolas, en especial en ciertas zonas propensas a un incremento de las épocas de sequía, como Brasil, Perú, los países del Sahel, Asia Sudoriental y China. La elevación del nivel del mar, producida por la fusión de los hielos polares podría hacer desaparecer muchos miles de kilómetros cuadrados de territorios próximos a las costas. La Figura anterior muestra la variación, en

tanto por ciento, del total de emisiones con respecto al nivel de dichas emisiones en 1990 y la variación en las emisiones producidas en diversos países entre 1990 y 2004, expresada en tanto por ciento.

### ***Lluvia ácida.***

La lluvia ácida es otro efecto colateral asociado a la combustión de combustibles fósiles. Aunque el carbón está formado por una proporción abrumadora de carbono, y, en consecuencia, el principal producto de su combustión es  $\text{CO}_2$ , dependiendo de su origen, contiene también trazas de azufre que dan lugar, al quemarse, a la formación de  $\text{SO}_2$ . Este gas, ligeramente reductor, reacciona fácilmente con el oxígeno del aire, dando lugar a la formación de trióxido de azufre,  $\text{SO}_3$ , de acuerdo con la reacción:  $\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ . La reacción del  $\text{SO}_3$  con el agua de la lluvia lleva a la formación de ácido sulfúrico, que, diluido, cae sobre la tierra, provocando daños en la vida animal y vegetal, dando lugar al deterioro de bosques enteros y causando erosión en terrenos y edificios y desencadenando y acelerando procesos de corrosión de metales.

*Figura I.14. Turbina de vapor.*

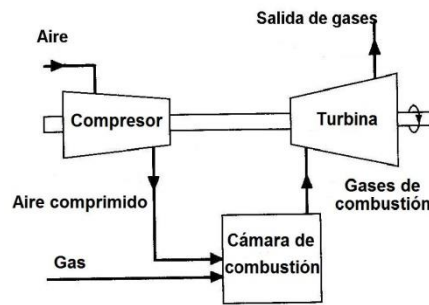


En las centrales térmicas se genera vapor de agua por combustión de gas natural, petróleo o carbón y este vapor de agua mueve el rotor de una turbina cuyo eje mueve un generador eléctrico.

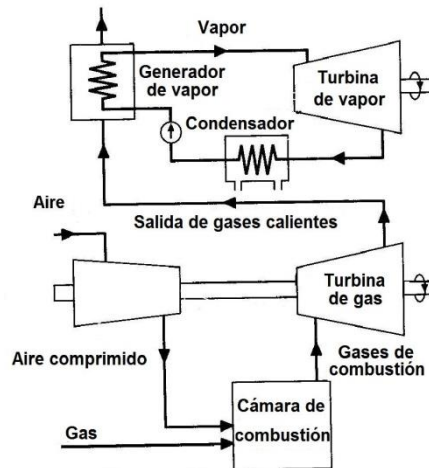
El esquema utilizado viene representado en la Figura I.14, para el caso de una turbina de vapor simple, en la que se utiliza el calor generado por combustión de un combustible fósil para producir vapor de agua. De forma algo más compleja, se pueden obtener mejores rendimientos para la transformación de la energía libre acumulada en los enlaces de las sustancias químicas que forman los combustibles fósiles, primero en calor, por combustión, y después en energía de expansión de gases que actúa sobre el rotor de una turbina de gas, transformándose en energía de rotación, tal como se representa en la Figura I.15 para el caso de una turbina de gas simple y otra, más compleja, de ciclo combinado.



Figura I.15. Turbinas de gas.



(a) Turbina de gas simple



(b) Turbina de ciclo combinado

Aparte de la baja eficiencia de conversión de este tipo de dispositivos, desde el punto de vista medioambiental, hay que tener en cuenta la emisión de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{SO}_2$ . La mayor parte del  $\text{SO}_2$  emitido a la atmósfera, hasta el 70%, se genera en centrales térmicas, especialmente en aquellas que utilizan carbón como combustible, en el que puede existir un contenido de azufre variable entre el 0.5 y el 5% por unidad de volumen. También ciertos petróleos pueden contener azufre en cantidades próximas a las mencionadas, por lo que su utilización en centrales térmicas y en el transporte por carretera constituye una fuente de emisiones de  $\text{SO}_2$ . Por el contrario, las centrales térmicas que funcionan con gas natural apenas producen este tipo de contaminación, debido a la ausencia casi total de compuestos de azufre en este combustible natural.

Las emisiones de  $\text{SO}_2$  pueden reducirse recurriendo a la utilización de ciertas técnicas. En el caso de centrales térmicas que utilizan carbón como combustible, se suele recurrir a pasar los gases generados en la combustión, en presencia de un exceso de oxígeno, a través de una suspensión de carbonato cálcico. El  $\text{SO}_2$ , se oxida previamente con el oxígeno a  $\text{SO}_3$ , y este desplaza al  $\text{CO}_2$  del carbonato cálcico a través de la reacción:  $\text{SO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaSO}_4$ . Este proceso lleva el nombre de *desulfurización* de efluentes. Su utilización da lugar a una ligera reducción de la eficiencia termodinámica que se alcanza en la generación de electricidad por la central térmica, aparte de que también se produce un incremento en la emisión de  $\text{CO}_2$  por unidad de energía eléctrica obtenida, debido a la reacción de desplazamiento antes mencionada.

En otro modelo de central térmica de carbón se utiliza un procedimiento por medio del que se generan menos emisiones de  $\text{SO}_2$ , así como de otros gases efluentes perjudiciales. Se recurre a una *combustión en lecho fluidizado y presurizado* en la cual se inyecta aire a través de un lecho ardiente de carbón en presencia de piedra caliza.



En los procesos de combustión en que se alcanzan temperaturas suficientemente elevadas puede llegar a tener lugar la reacción entre moléculas tan inertes como las del nitrógeno del aire y el oxígeno, a través de reacciones del tipo:  $N_2 + O_2 \rightarrow 2 NO$ ;  $NO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO_2$ ; y su posterior reacción con el agua de la atmósfera:  $3 NO_2 + H_2O \rightarrow 2 HNO_3 + NO$ , que da lugar a la formación de ácido nítrico. Este tipo de óxidos puede generarse también a partir de la presencia de sustancias nitrogenadas componentes de los combustibles fósiles de partida. Dado que en los motores de combustión de los automóviles se alcanzan temperaturas suficientemente elevadas, es en estos en los que se generan las mayores cantidades de  $NO_x$  (más del 50%), mientras que la mitad de esa cantidad, según el país que se considere y la estrategia del mismo en la generación de electricidad, puede formarse como consecuencia de combustiones en centrales térmicas.

### ***Contaminación de los mares con residuos de petróleo.***

Los perjuicios para el medioambiente que son consecuencia del uso de los combustibles fósiles no solo proceden de los procesos de combustión, sino que también se originan en la explotación de los yacimientos y en su transporte.

En el caso de las *minas de carbón bajo tierra* se pueden producir *hundimientos* del terreno y *contaminación de aguas subterráneas y ríos*. Si las explotaciones tienen lugar a cielo abierto se producen grandes modificaciones del paisaje que pueden tardar milenios en recuperarse, como en Las Médulas (León). Los propios edificios de las centrales térmicas o de refinerías de petróleo pueden dar lugar a impactos visuales no deseables en determinados paisajes, producir malos olores, o dar lugar a efluentes contaminantes.

Pero una de las fuentes de contaminación más perjudiciales para el medio ambiente proviene de los derrames de petróleo que se producen como consecuencia del transporte del mismo a través de oleoductos o en petroleros a través de los océanos. Los barcos petroleros son capaces de transportar grandes cantidades del combustible y cuando se produce un accidente, como el del Exxon Valdez en 1989 en Alaska, en que se derramaron 39000 toneladas de petróleo que llegaron a recubrir hasta 4000  $km^2$  de costa, o el del Prestige, en 2002, que llegó a contaminar prácticamente todas las costas de Galicia y de la zona cantábrica, el suceso adquiere dimensiones de catástrofe.

### ***El problema de los residuos radiactivos.***

La utilización de energía eléctrica de origen nuclear es una de las cuestiones más discutidas a la hora de decidir la política energética de un país. Por una parte, existe un rechazo frontal a este tipo de centrales por una fracción importante de la población. Por otra, no cabe duda de que para muchos países, que no disponen de reservas de petróleo y gas natural, la energía nuclear puede contribuir de manera esencial a la independencia energética. De acuerdo con la coyuntura política que se viva, la balanza puede inclinarse a favor de los que se apoyan en argumentos como los que aporta un accidente como el de Chernovyl, en 1986, que contaminó miles de  $km^2$  para siglos, o, si los precios del petróleo son demasiado caros y hay guerra en las zonas donde se encuentran los yacimientos, a favor de los que aseguran, que, pese a los accidentes producidos y al problema de los desechos radiactivos, la energía nuclear utiliza una tecnología suficientemente segura como para no sea necesario prescindir de ella.

Francia y Bélgica generan una parte muy importante de su energía eléctrica en plantas nucleares. A escala mundial, las centrales nucleares proveen alrededor del 6% en términos de energía primaria.

A la hora de plantearse la utilización de la energía nuclear no hay que olvidar que aún existen muy pocos datos sobre el comportamiento de los materiales, y, sobre todo, de los nuevos materiales, bajo las condiciones de gran temperatura y elevados niveles de radiación que se dan en el interior de un reactor nuclear. La falta de este tipo de datos, hace imposible predecir, que tipo de transformaciones

se producirán en los materiales situados en el interior del reactor. Esto puede dar lugar a la generación de grietas y otro tipo de deformaciones cuya gravedad no se puede ignorar.

Pero, aún suponiendo que fuera posible asegurar, que no se producirán accidentes, seguiría existiendo el problema de los *desechos radiactivos*. Es sabido que, como consecuencia de los procesos de fisión nuclear, que dan origen a la generación de energía en las plantas nucleares, aparecen productos altamente radiactivos, y, en algunos casos, con un período de semidesintegración tan prolongado, que tendrán que transcurrir milenios antes de que sea posible cualquier actividad en sus proximidades. Se han buscado soluciones, tratando de enterrar los residuos en bloques de hormigón que eviten pérdidas de cualquier elemento radiactivo y de almacenarlos en lugares remotos, como antiguas minas de sal, situados en zonas no propensas a sufrir terremotos u otro tipo de catástrofe, pero nadie puede garantizar que, en plazos más o menos amplios de tiempo no acabe por producirse un accidente que deje inútiles grandes extensiones de territorio.

## 8. PROBLEMAS DE SOSTENIBILIDAD.

En 1970 apareció el libro “*Los límites del crecimiento*”, que causó una gran impresión, debido a que en él se hacían una serie de predicciones, basadas en simulaciones de ordenador, en las que se partía de suponer que el consumo de petróleo crecería exponencialmente. La consecuencia a la que se llegaba era un agotamiento de las reservas, cualquiera que fuera la cantidad existente de las mismas. En 1973 llegó la primera crisis del petróleo y los temores antes despertados parecieron confirmarse. Desde entonces se han venido descubriendo nuevas reservas, y, aunque se tiene la certeza de que tarde o temprano se agotarán las fuentes, nadie es capaz de hacer una estimación creíble sobre el momento en que ese suceso tendrá lugar. De modo continuo se producen nuevos descubrimientos y los progresos tecnológicos convierten en técnicamente explotables yacimientos a los que anteriormente no se tenía acceso. Cada año se publican datos sobre las denominadas “reservas comprobadas”, que son las cantidades de petróleo, gas natural y carbón, de las cuales se sabe con certeza razonable que pueden ser extraídas de los yacimientos donde se encuentran, partiendo de las condiciones económicas y operativas de que se dispone actualmente. A finales del año 2000 las reservas comprobadas de petróleo se estimaban en 142750 millones de toneladas y la producción y el consumo ese año fueron de 3521 y 3502 millones de toneladas, respectivamente. La Figura I.16 muestra un esquema de las reservas comprobadas de petróleo en el año 2005.

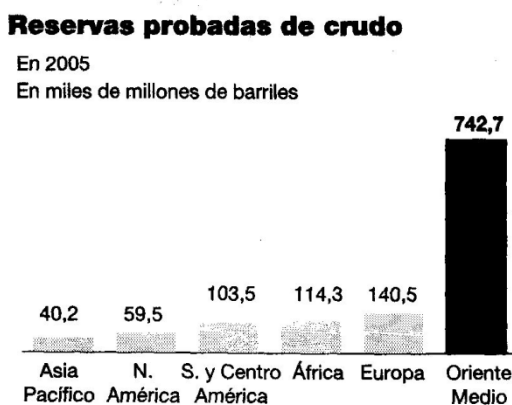
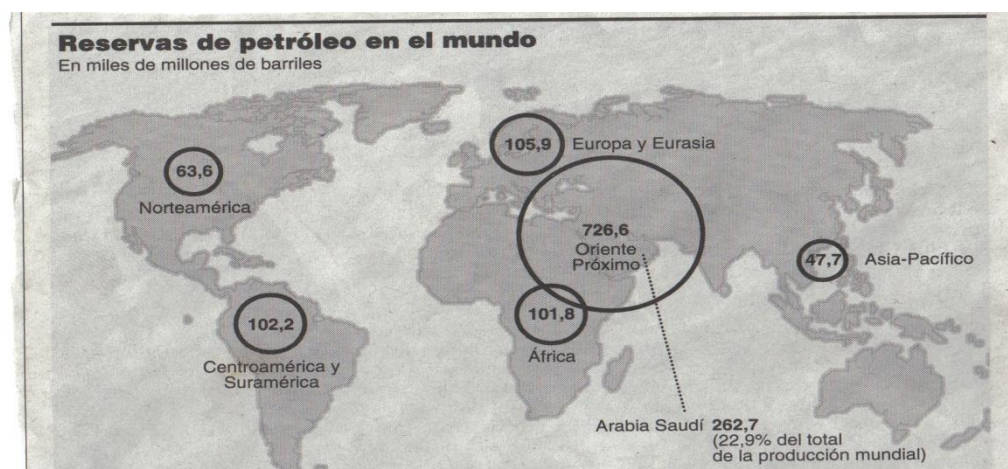


Figura I.16 (a). Reservas comprobadas de petróleo en el año 2005. Una tonelada de petróleo contiene, por término medio 7.3 barriles. Por lo tanto, los 1.2 billones de barriles equivaldrían a unos 165000 millones de toneladas de petróleo.



Las continuas exploraciones llevan al descubrimiento de nuevos yacimientos, lo que exige una revisión de los datos existentes sobre reservas comprobadas. Por otra parte, la subida de los precios del petróleo pueden convertir en económicamente rentable la explotación de reservas para cuya extracción existen medios técnicos disponibles, pero que no se aplican porque las circunstancias económicas no lo permiten. Por lo tanto, reservas cuya explotación tiempo atrás se consideraba inviable desde el punto de vista económico, en determinado momento pueden resultar explotables. Sin embargo, hay un límite en la extracción de crudo que nunca podrá rebasarse y este se alcanzará cuando la energía requerida para la extracción supere a la energía extraída.

Una relación que se utiliza con frecuencia es la existente *entre reservas comprobadas y producción en el último año*, que daría como resultado el número de años que tardarían en agotarse las reservas comprobadas si se consumiesen al ritmo del último año. Por lo tanto, esa relación para el petróleo en el año 2000 era de  $142750 \text{ Mton}/3502 \text{ Mton año}^{-1} = 41$  años.

En *gas natural*, Rusia dispone de alrededor del 40% de las reservas comprobadas y otro 40% está situado en países de la OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries). Las reservas estimadas de gas natural alcanzan los  $140 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , que a un ritmo de consumo de unos 2 billones de  $\text{m}^3$  al año, suponen que se agotarán en 70 años.

Las reservas mundiales de *carbón* son más amplias y están distribuidas geográficamente de forma más uniforme. La relación reservas/producción comprobadas puede ser de unos 200 años, aunque es probable, que las reservas de carbón accasibles económicamente puedan llegar hasta unos dos billones de toneladas, lo que correspondería a 1000 años al nivel de consumo actual. Por otra parte, dichos recursos, se encuentran repartidos a lo largo de amplias zonas geográficas, lo que lo hace fácilmente transportable y accesible a muchos países.

El carbón es, en el momento actual, un combustible a partir del que se genera el 40% de la electricidad mundial. Austria genera el 85% de su electricidad a partir de carbón, mientras que en China es el 75% y en EE.UU, Sudáfrica y Dinamarca, hasta el 50%. Por otra parte, el carbón se utiliza para generar el 70% de la producción mundial de acero, y en la fabricación de ladrillos, azulejos, cementos, plásticos, tintes, explosivos, etc.

Teniendo en cuenta que la Agencia Internacional de la Energía considera, que la demanda energética mundial aumentará en un 70% en los próximos treinta años, y que, según este mismo organismo, el carbón duplicará su contribución al mercado energético mundial en los próximos

cincuenta años, se han presentado diferentes proyectos de centrales térmicas basadas en la combustión de carbón, por medio de los cuales se pretende incrementar en un 10% la eficiencia de conversión, lo que iría unido a una reducción en el 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros gases contaminantes. Esta reducción de la emisión de gases, se llevaría a cabo, recurriendo a procedimientos de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Las tecnologías propuestas en los diferentes proyectos, se basan en la utilización de carbón pulverizado, en plantas de ciclo combinado. De este modo, se pretende que, en el año 2030, todas las plantas térmicas basadas en carbón, lleguen a alcanzar eficiencias del orden del 45-50% (comparado con el 30% actual), y que capturen hasta el 90% de los gases de efecto invernadero.

Con el fin de incrementar la eficiencia, se pretende recurrir a nuevos materiales, como pueden ser ciertas aleaciones de níquel resistentes a la corrosión, y al uso de turbinas de vapor que funcionen a mayores presiones y temperaturas. Se habla de las denominadas centrales supercríticas, que trabajan a temperaturas del orden de 600°C, y de otras que se proyectan para trabajar a temperaturas superiores a los 750°C.

En EE.UU. se está poniendo en marcha un proyecto, denominado FUTUREGEN, consistente en una planta experimental de 250 MW de potencia, con un presupuesto de 1500 millones de dólares, que, a partir de 2012, proporcionará electricidad a 1500 viviendas. Esta planta no tendrá chimenea, ya que, el CO<sub>2</sub> resultante de la combustión del carbón, será sometido a una serie de procesos, y, finalmente, se almacenará en una formación geológica profunda, localizada bajo la planta de combustión. El proceso se inicia, haciendo reaccionar al carbón con oxígeno y agua en un gasificador. El resultado de esta primera etapa es la formación de cenizas y residuos sólidos, que pueden ser utilizadas en la construcción de edificios y de carreteras. Del gasificador sale una mezcla rica en CO y H<sub>2</sub>, que se somete a un proceso de “desplazamiento” (“shift”), en el que el CO reacciona con vapor de agua, para dar lugar a la formación de H<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> ( $H_2O + CO \rightarrow CO_2 + H_2$ ). Los gases resultantes de esta etapa, se someten a un proceso de limpieza, en el cual se recuperan los compuestos de azufre y se separa el CO<sub>2</sub>. El hidrógeno resultante se puede utilizar en procesos industriales, como combustible en células de combustión, o bien, en ciclos térmicos de generación de electricidad con turbinas de vapor de alta eficiencia.

Se ha hablado hasta el momento de *sostenibilidad* referida exclusivamente a la existencia de depósitos de combustibles fósiles, sin considerar la *sostenibilidad desde el punto de vista medioambiental* que fue discutida en el apartado anterior. Por lo tanto, no es seguro que las necesidades energéticas mundiales pudieran satisfacerse a partir de la mera combustión de carbón, dadas las emisiones de gas invernadero y otros contaminantes que van asociadas a dicho proceso, a no ser que se encuentren procesos eficaces de eliminación del CO<sub>2</sub>. También podría recurrirse a la conversión de carbón en combustibles líquidos por medio de procesos catalíticos del tipo Fischer-Tropsch, pero tales conversiones consumen mucha energía y requieren fuertes inversiones.

Finalmente, queda el recurso de *las energías renovables* que se va a discutir en los capítulos próximos.

## **9. PROBLEMAS SOCIALES.**

La naturaleza de los problemas medioambientales y de sostenibilidad que se acaban de discutir no es ajena a los problemas sociales que desencadenan los usos que se hace actualmente de la energía.

Las principales dificultades que crea una economía basada en el uso del petróleo como principal fuente energética son las *tensiones políticas y económicas* que se derivan de la concentración de las reservas petrolíferas en determinadas áreas del planeta. Las naciones más poderosas, como EE UU y la UE dependen del petróleo que se extrae en el Oriente Medio y las naciones productoras son cada vez más conscientes del valor estratégico de la riqueza que poseen. La consecuencia ha sido una

sucesión de crisis de extrema gravedad, como la que en el momento presente se centra en grandes países productores como Irak e Irán.

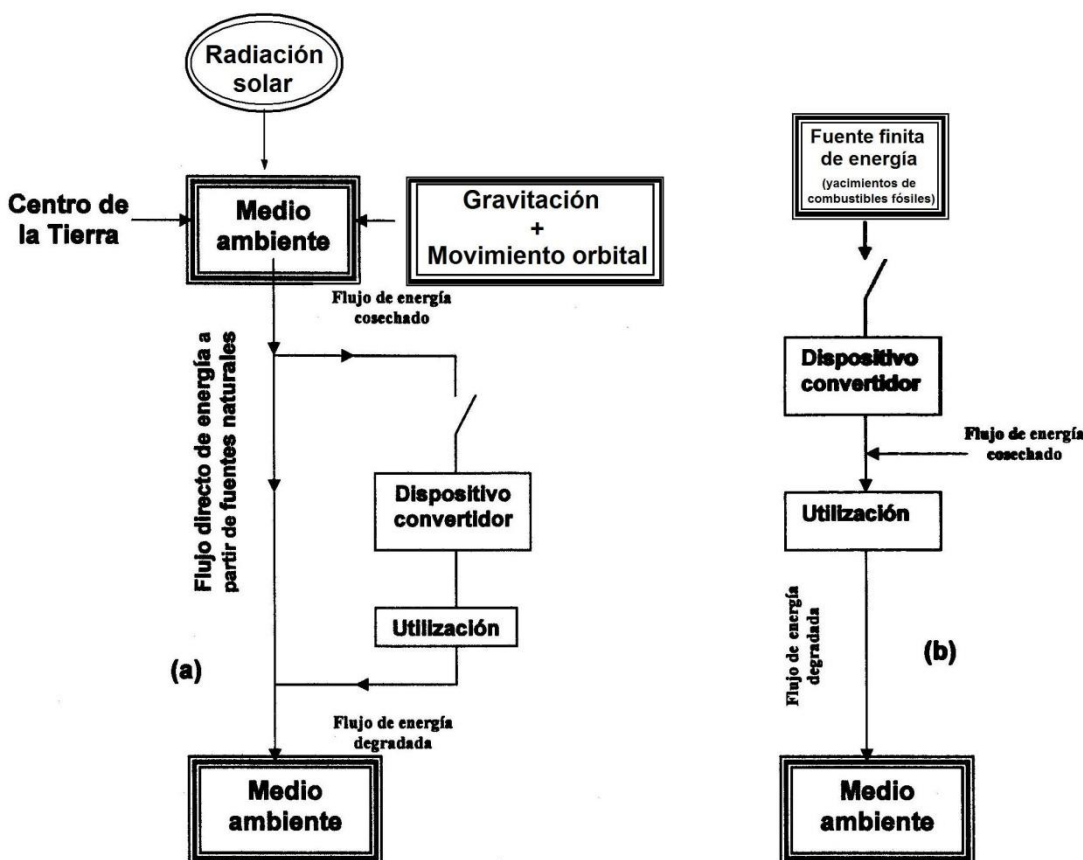
Además de lo anteriormente expuesto, hay que añadir que, en los países industrializados, la producción, distribución y uso de los combustibles fósiles se realiza en grandes instalaciones, capaces de satisfacer la demanda energética de un gran número de usuarios. Las grandes centrales térmicas, refinerías, tanques petroleros, o centrales hidroeléctricas, son fáciles objetivos para ataques militares o terroristas. De ese modo no solo se consiguen efectos sobre los usuarios, sino que se pueden desencadenar daños medioambientales de difícil solución. Esta *vulnerabilidad* de los grandes centros de producción energética puede paliarse parcialmente localizándolos en sitios de difícil acceso y vigilados. Una mejor solución sería disponer de centrales pequeñas y dispersas en las que cualquier accidente solo afectaría a pequeños núcleos de población.

En cuanto al recurso a la generación de energía eléctrica en centrales nucleares, se corre el riesgo de que se produzca una proliferación de países capaces de acceder a materiales que les permitiesen fabricar bombas nucleares con el pretexto de poner en marcha programas de generación de energía.

### 10. UNA POSIBLE SOLUCIÓN: LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.

El examen del modo en que se utiliza la energía por la sociedad actual y los problemas derivados de tal uso ponen de manifiesto la urgencia por encontrar soluciones.

Figura I.17. Comparación entre el aprovechamiento de energías renovables (a) y el de energías finitas o no renovables.



Las denominadas *energías renovables* pueden contribuir a resolver, al menos parcialmente, las dificultades de abastecimiento, que parece inevitable que se presentarán en un futuro no tan lejano.

Los autores más renombrados, como *Twidell y Weir* y *Sorensen*, han dado las siguientes definiciones para el término energía renovable: para los primeros es “energía que se obtiene a partir de corrientes de energía continuas y recurrentes en el mundo natural”. Para Sorensen, energía renovable es todo “flujo energético que se restablece al mismo ritmo al que se utiliza”, o, también: *el uso de cualquier depósito de energía que se rellena a velocidad comparable a la que es extraída*”.

*Energía no renovable* sería aquella energía obtenida a partir de acumulaciones “estáticas” de energía, que permanecen fijas hasta que se liberan por los seres humanos. Son ejemplos los combustibles fósiles y los nucleares.

La Figura I.17 muestra dos esquemas, que permiten hacer una comparación entre el suministro de energía, a partir de fuentes renovables, y el que se obtiene a partir de yacimientos finitos, no renovables.

Las fuentes donde se originan las energías renovables son *el Sol, la gravedad, la rotación de la Tierra, y el calor interno de la Tierra*.

La mayor parte de los sistemas ideados, como procedimientos para la explotación de fuentes renovables, están relacionados con la radiación solar. La Tierra recibe del Sol unos 170000 TW (T = tera =  $10^{12}$ ). De esa cantidad, 50000 TW son reflejados y de los 120000 restantes, 80000 llegan hasta la superficie en forma de radiación fotónica y 40000 son absorbidos por la atmósfera y los mares, dando lugar a procesos de evaporación que generan nubes y a un calentamiento diferencial, que genera vientos, y, estos, a su vez generan oleajes. Para aprovechar la radiación fotónica incidente sobre la Tierra se han ideado sistemas que transforman radiaciones visibles e infrarrojas en calor sensible, que es transferido a un fluido, aire o agua, en sistemas de baja temperatura, como los *colectores solares*, que producen calor para calefacción o agua caliente, o de temperatura más elevada por medio de la cual se puede generar vapor de agua o gas a presión capaz de hacer rotar a una turbina y, así, generar energía eléctrica, en sistemas de temperatura elevada en los denominados *concentradores solares*. Asimismo, se puede tratar de utilizar esta radiación con el fin de suministrar calefacción y bienestar en viviendas construidas siguiendo un diseño racional, como los que se pueden conseguir con la *arquitectura bioclimática*.

Parte de la radiación visible que alcanza la superficie de la Tierra puede ser transformada directamente en energía eléctrica en *dispositivos fotovoltaicos*, y en energía eléctrica y/o energía química en las denominadas *células fotoelectroquímicas*.

Los 40000 TW que son absorbidos por las aguas, dan lugar a la formación de nubes, a partir de las cuales se producen precipitaciones, que forman depósitos de agua situados a diferentes alturas, lo que supone *depósitos de energía potencial*, los cuales, junto con las *corrientes de agua (energía cinética)*, que se producen como consecuencia de desplazamientos o corrientes de agua entre diferentes alturas, pueden ser aprovechados para la *generación de electricidad en plantas hidroeléctricas*.

Otros 300 TW de la potencia procedente de la radiación solar dan lugar a *calentamientos diferenciales* en distintas zonas de la superficie de la Tierra. Por una parte, las zonas ecuatoriales reciben radiación, que incide perpendicularmente sobre la superficie durante todos los días del año, por lo que esas zonas superficiales estarán más calientes que las zonas próximas a los polos, donde la radiación incide más sesgadamente, atravesando un espesor atmosférico mayor y sufriendo, por lo tanto, una mayor absorción por los gases componentes de la atmósfera. Estos procesos ponen en marcha corrientes convectivas de aire, vientos, que circulan globalmente, interfiriendo con la rotación de la Tierra.

Otros procesos, de calentamiento diferencial, localizados en puntos geográficos determinados, dan lugar a vientos y brisas locales. Los vientos portan energía cinética, un tipo de energía de alto

grado termodinámico, que puede convertirse, con eficiencias relativamente elevadas, en electricidad, en las denominadas turbinas eólicas, o que puede ser aprovechada, por medio de velas o, a través de dispositivos que hacen uso del efecto Magnus, en energía cinética de movimiento. Por lo tanto, la *energía eólica* es un tipo de *energía renovable de origen solar indirecto*. A su vez, los vientos, al interactuar con las aguas superficiales, transfieren parte de su energía cinética a las aguas de mares y océanos, generando *oleaje*, del que también es posible extraer energía por medio de tecnologías que aún se encuentran en fase de desarrollo. El calentamiento diferencial de distintas zonas de los océanos da lugar, también, a corrientes convectivas de agua, que provocan los desplazamientos masivos de agua, a los que se da el nombre de *corrientes marinas*. De nuevo, se ha generado energía cinética, que puede convertirse en electricidad por medio de turbinas. También aparecen diferencias de temperaturas entre las aguas superficiales y profundas de los océanos, que son más significativas, en las zonas ecuatoriales y tropicales. En estos puntos geográficos, se podría pensar en una utilización de tales diferencias de temperatura, para instalar máquinas térmicas, que conviertan calor en electricidad.

Una pequeña parte de la potencia transportada por la radiación incidente, cuya cuantía se estima en alrededor de 30 TW, es aprovechada por la Naturaleza, para generar los ciclos de vida vegetal y animal, haciendo uso del proceso natural al que se denomina *fotosíntesis*. El ser humano hace uso del resultado de este proceso, para obtener biomasa, biocarburantes y otros combustibles biológicos, aparte de los alimentos.

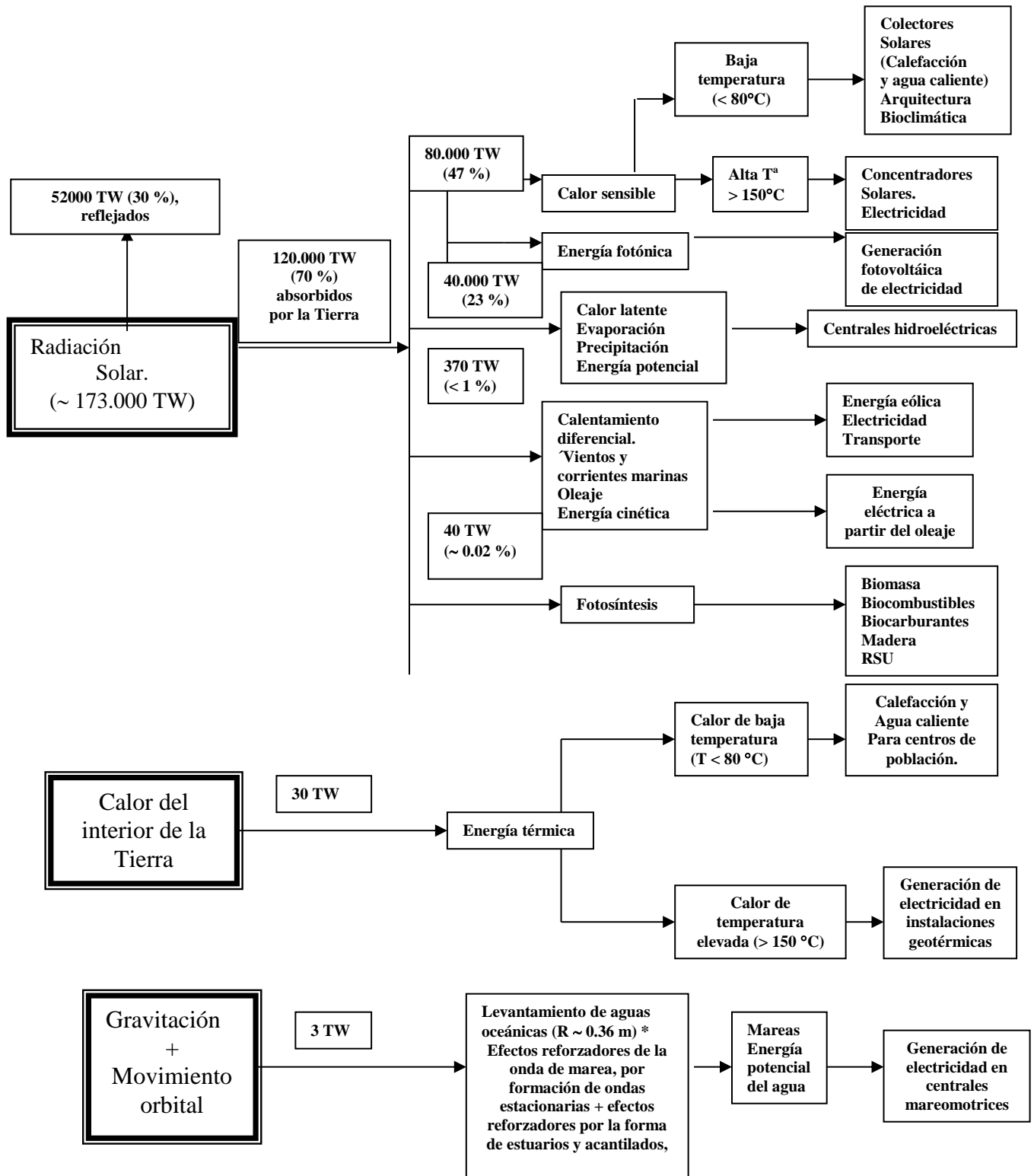
El origen de la Tierra se cree que está en un proceso de *acreción*, en el que, la atracción gravitatoria fue aglomerando bloques de distinto tamaño. Estos bloques, parece que surgieron de la explosión de una supernova, a partir de cuyos restos, se formó el Sol, y los bloques restantes dieron lugar al nacimiento de los planetas, a través del proceso de *acreción gravitatoria* antes mencionado. Los bloques rocosos interactuaban entre sí por gravitación. La atracción gravitatoria mutua, los impulsaba a chocar entre sí, convirtiendo la energía cinética en calor. Restos de este calor se encuentran aún atrapados en el núcleo metálico y en las capas adyacentes, donde las temperaturas siguen siendo muy elevadas. Este calor funde rocas para formar el magma, el cual participa en procesos convectivos que terminan por dar lugar a emanaciones del mismo en zonas próximas a la superficie. El calor del magma puede transferirse a rocas y de estas a acuíferos, que dan lugar a fuentes de agua caliente, o a fenómenos como los geysers. *El flujo de calor de origen geotérmico*, que se estima puede alcanzar los 30 TW, puede ser aprovechado como calor de alta temperatura para generar electricidad, o como calor de baja temperatura para suministrar calor y agua caliente a poblaciones próximas a las fuentes calientes. Este flujo de energía, a muy largo plazo (miles de millones de años), no sería renovable, pues procede de un depósito que se terminará agotando. Pero, a corto plazo, dado el muy lento ritmo de disminución de las “reservas”, se puede considerar como una energía renovable, siempre que no sea utilizado en la zona superficial accesible, a un ritmo superior al que se repone desde el interior.

Hay otra energía renovable, cuyo origen se encuentra en los efectos conjugados de la gravitación y el movimiento orbital de la Tierra, la Luna, y el Sol. Como consecuencia de la interacción gravitatoria Tierra-Luna (y, en menor proporción, del Sol) se produce un *levantamiento de las aguas* oceánicas y de mares, de cuantía suficiente, como para generar una *onda de marea*, que se desplaza como una onda a lo ancho de los océanos. El Atlántico y el Pacífico se comportan como *cajas resonantes* para esta onda mareomotriz, pues su anchura, cumple con la condición de ser alrededor de la mitad de la *longitud de la onda de marea*, por lo que se generan ondas estacionarias. Al llegar estas ondas estacionarias a un ritmo determinado hasta las *zonas costeras*, se producen *efectos reforzadores del levantamiento del agua*, especialmente donde existen accidentes geográficos, como canales entre acantilados o estuarios, que pueden llegar a levantar grandes masas de agua hasta 15 metros de altura. Grandes masas de agua, levantadas hasta tal altura, significan grandes cantidades de energía potencial, un tipo de energía de elevado grado termodinámico, que puede convertirse en energía eléctrica en centrales denominadas mareomotrices. *El flujo de energía mareomotriz* se ha estimado que alcanza los 3 TW.



En el esquema de la Figura I.18, se muestran los flujos naturales de energía que aparecen sobre la Tierra y las energías renovables que de ellos se pueden derivar.

Figura I.18. Flujos naturales de energía y energías renovables obtenibles de los mismos.



Para tener un punto de referencia de estas cantidades hay que recordar que la energía primaria se consume en el mundo a un ritmo de unos 13 TW. Los 173000 TW que alcanzan la Tierra, representan 13200 veces esa cifra. La energía radiante que llega a la Tierra desde el Sol por año equivale a 160 veces la energía total almacenada en todas las reservas comprobadas de combustibles

fósiles existentes en el mundo. Toda la energía que llega, finalmente es irradiada de nuevo al espacio en forma de radiación correspondiente al infrarrojo lejano.

Dentro de las tecnologías que se han desarrollado para el aprovechamiento de fuentes renovables, las hay perfectamente establecidas y perfeccionadas, como las que se utilizan en centrales hidroeléctricas, y también otras, como la energía a partir del oleaje, en las que los diseños y dispositivos ideados se encuentran todavía en fase de investigación y desarrollo.

Una utilización de energías renovables, a escala mayor que la que actualmente se emplea, podría hacer que disminuyera la dependencia del petróleo y gas natural en muchos países, y, como consecuencia, podría contribuir en parte los problemas medioambientales a que su combustión da lugar.

Pese al menor impacto medioambiental que generan las energías renovables, se verá en los próximos capítulos, que cualquiera que sea la fuente a partir de la que se genere energía, siempre se produce un impacto medioambiental. Mientras que algunas fuentes renovables, como la energía eólica, producen impactos sobre el paisaje y cierto ruido e interferencias con el vuelo de las aves, otras, como las centrales hidroeléctricas o mareomotrices, dan lugar a severos impactos sobre el paisaje y sobre los ecosistemas a que su presencia afecta. Solo alguna de ellas, como la energía geotérmica puede dar lugar a la emisión de sustancias líquidas o gaseosas nocivas.

En la Figura I.18 se presenta un esquema de las fuentes de las que se derivan los flujos de energía renovable, junto con los diferentes tipos de aplicaciones que encuentran.

En la Tabla I.2 se muestran, en forma comparativa, las emisiones de distintos contaminantes que van asociadas a la generación de un GWh de energía eléctrica, a partir de la combustión de combustibles fósiles y por medio de dispositivos de aprovechamiento de energías renovables.

*Tabla I.2*

*Emisión de distintos contaminantes, medida en Ton producidas al generar 1 GWh de energía eléctrica, partiendo de distintos combustibles en centrales térmicas, o por utilización de diferentes fuentes de energía renovable.*

| Fuente         | CO <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | PSS    | CO     | HC     | D. nucl. | Total |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|----------|-------|
| Carbón         | 1058            | 3               | 3               | 1.6    | 0.3    | 0.1    | No       | 1066  |
| Gas natural    | 824             | 0.25            | 0.34            | 1.18   | Trazas | Trazas | No       | 825.8 |
| Nuclear        | 8.6             | 0.034           | 0.029           | 0.003  | 0.018  | 0.001  | 3.64     | 12.3  |
| Fotovoltaico   | 5.9             | 0.008           | 0.023           | 0.017  | 0.003  | 0.002  | No       | 5.9   |
| Biomasa        | 0               | 0.614           | 0.154           | 0.512  | 11.361 | 0.768  | No       | 13.4  |
| Geotérmico     | 56.8            | Trazas          | Trazas          | Trazas | Trazas | Trazas | No       | 56.8  |
| Eólico         | 7.4             | Trazas          | Trazas          | Trazas | Trazas | Trazas | No       | 7.4   |
| Solar térmico  | 3.6             | Trazas          | Trazas          | Trazas | Trazas | Trazas | No       | 3.6   |
| Hidroeléctrico | 6.6             | Trazas          | Trazas          | Trazas | Trazas | Trazas | No       | 6.6   |

PSS = Partículas sólidas en suspensión; HC = hidrocarburos; D. Nucl. = Desechos nucleares.

*Las fuentes de energía renovable están garantizadas y son inagotables, pues no existen reservas almacenadas que puedan agotarse. Su uso es local y disperso, es decir, no se producen grandes cantidades de energía en un solo punto, que pueda convertirse en el objetivo de terroristas o de ataques militares y producen efectos contaminantes e impactos medioambientales bajos, excepto en el caso de los grandes esquemas hidroeléctricos o mareomotrices.*

### ***Cantidades de energías renovables consideradas como técnicamente accesibles.***

Algunas de las fuentes energéticas renovables antes descritas contribuyen, en el momento actual, de modo significativo a satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad. Ejemplo de esto, lo constituyen las plantas hidroeléctricas y la energía eólica. Las distintas fuentes presentan diversos grados termodinámicos, por lo que su uso debe de estar adaptado a la aplicación que se hace. Así, el calor de baja temperatura se aplicará para calefacción y agua caliente, mientras que fuentes de mayor nobleza o grado termodinámico pueden ser aptas para la generación de electricidad.

Las fuentes energéticas de grado termodinámico más elevado, como aquellas basadas en la conversión de energías cinética, potencial y electromagnética, es decir, viento, oleaje, hidráulica, mareomotriz y fotovoltaica, son adecuadas para la generación de electricidad. También es posible generar electricidad, a partir de fuentes energéticas de grado termodinámico más bajo, por ejemplo, por combustión de biomasa, o de combustibles líquidos o gaseosos extraídos de la biomasa, a partir de calor de origen geotérmico, o utilizando hornos solares calentados por medio de concentradores de radiación, en los que el calor generado puede usarse para obtener vapor de agua que se lleva sobre una turbina para producir electricidad.

El transporte utiliza un tipo de energía de elevado grado termodinámico, como es la energía cinética, que se puede obtener transformando en motores electricidad de origen renovable. Los biocombustibles derivados de la biomasa son también una opción ya existente para sustituir a las gasolinas. Otra solución en la que se ha pensado, es aplicar, la electricidad generada con tecnologías renovables, para llevar a cabo la electrolisis del agua. De este modo se produce hidrógeno, que es el combustible con mayor densidad energética (120 MJ/kg en estado líquido o gaseoso), el cual puede después utilizarse en células de combustión, que produzcan electricidad para mover motores eléctricos incorporados a un automóvil.

Calor de alta temperatura, apto para generar electricidad se puede obtener por combustión de biocombustibles derivados de la biomasa, o bien, utilizando *hornos solares concentradores*.

Calor de baja temperatura, para calefacción y agua caliente en viviendas, puede cosecharse utilizando colectores solares, a partir de fuentes geotérmicas, con calor de desecho de centrales térmicas, o quemando desechos agrícolas, industriales o basuras domésticas.

Las cantidades explotables de las fuentes energéticas renovables resultan tan difíciles de estimar como las cantidades que aún existen de combustibles fósiles. Se pueden llevar a cabo cálculos groseros de cantidades tales como la radiación solar incidente, la potencia total contenida en los vientos terrestres, el oleaje, mareas, biomasa, flujo geotérmico, etc. Sin embargo, *solo una pequeña fracción de ese total resulta realmente recuperable según los medios técnicos de que se dispone*. La fracción del total disponible, que resulta *aceptable recuperar desde el punto de vista económico*, varía según sean los precios de la energía producida a partir de combustibles fósiles o nucleares, y el estado de desarrollo de los dispositivos que se utilizan para transformar la energía.

Otra cuestión de interés es, en que medida, cualquier fuente de energía, suministra esta a un ritmo que se adapte a la demanda que existe de la misma. En el caso de energía almacenada, como ocurre en los combustibles fósiles o el agua de un embalse, es fácil conseguir que el ritmo de generación, por ejemplo, de energía eléctrica, se adapte a la demanda. Esto es especialmente cierto en el caso de agua almacenada, de la cual se pueden hacer pasar volúmenes grandes a través de turbinas, y, de ese modo, generar cantidades elevadas de energía eléctrica en fracciones de segundo, de manera que resulta fácil seguir las exigencias de la denominada *curva de demanda*, que es una representación gráfica de la demanda de energía eléctrica como función del tiempo, en una ciudad, una región o un país. Por otra parte, la energía que no se utiliza, permanece almacenada y estable en los enlaces químicos del combustible de que se trate, o, en forma de energía potencial en el agua de un embalse.

En el caso de tratar con flujos energéticos, que se convierten en formas útiles de energía durante el tiempo en que llegan al punto donde se utilizan, pueden transcurrir intervalos de tiempo significativos entre el momento de la conversión y aquel en que la energía resulta más necesaria. Por ejemplo, en el caso de la energía eléctrica de origen fotovoltaico, solo existe generación durante las horas del día, mientras que el pico o máximo de demanda puede darse en las primeras horas de la noche. Lo mismo es válido para los colectores solares, en los que el agua caliente solo se produce durante las horas en que llega radiación, mientras que las necesidades de calefacción y agua caliente, que se intenta satisfacer con los mismos, pueden extenderse a horarios nocturnos. En estos casos y en otros, hay que recurrir a almacenar la energía, producida en exceso en momentos en que no es tan necesaria, para que pueda ser utilizada en aquellos intervalos de tiempo en que no hay flujo de energía renovable. Así, en el caso de la energía de origen fotovoltaico, se recurre al uso de acumuladores, generalmente de plomo, para almacenar la electricidad producida, o, en el caso de los colectores solares, a almacenar el agua caliente en un depósito convenientemente aislado. Se habla de que los sistemas que utilizan energías renovables tienen que estar *dinámicamente acoplados* al dispositivo que los utiliza y al momento en que su uso es necesario.

En la Tabla I.3 pueden verse diversos ejemplos de energías renovables y de su comportamiento dinámico. En algunos casos, la producción de energía útil puede estar sometida a grandes irregularidades. Por ejemplo, un sistema de *generación eólica de electricidad* se caracteriza por una *elevada impredecibilidad en la generación de energía a corto plazo*, mientras que *el ritmo de producción de energía en una central mareomotriz es altamente predecible*.

Tabla I.3  
Intensidad y frecuencia de llegada de flujos de energías renovables.

| Tipo de energía  | Periodicidad    | Variables de que depende  | Ecuación  | Comentario   |
|------------------|-----------------|---|---|--|
| Luz solar        | 12 h (Ecuador)  | Irradiancia solar ( $(W/m^2)$<br>Ángulo del rayo con vertical, $\theta_z$ | $P \propto G \cos \theta_z$ ,<br>Máximo $1000 W m^{-2}$ | No hay radiación durante la noche.                   |
| Luz solar difusa | Durante el día  | Depende de nubosidad  | $P \ll G$ ; $P \leq 300 W m^{-2}$                       | Calor de baja temperatura                            |
| Biocombustibles  | Anual           | Condiciones del suelo, irradiación solar, agua.                           | Energía media almacenada, $10 MJ kg^{-1}$               | Muy variable según el tipo y condiciones del cultivo |
| Viento           | Anual           | Velocidad del viento, $u_0$   | $P \propto u_0^3$                                       | Muy fluctuante                                       |
| Oleaje           | Anual           | Altura significativa de la ola, $H_s$ , y período, T.                     | $P \propto H_s^2 T$                                     | Elevada densidad de potencia $\sim 50 kW m^{-1}$     |
| Hidráulica       | Anual           | Altura, H, y caudal, Q  | $P \propto H Q$   | Tecnología conocida                                  |
| Mareomotriz      | 12 h 25 minutos | R, altura de marea, área  | $P \propto R^2 A$                                       | R, depende de la costa                               |

Además del acoplamiento dinámico, hay que tener en cuenta la posibilidad de *integración*, por ejemplo, de la electricidad producida a partir de cualquier fuente en una red eléctrica general, en la cual la electricidad alterna transportada tiene unas determinadas características de frecuencia, que pueden no cumplir los tipos de electricidad generados por los dispositivos transformadores de las fuentes de energía renovables. Esto puede ser lo que ocurre, por ejemplo, en el caso de una energía muy fluctuante, como la que se obtiene a partir del oleaje.

Hay que tomar en consideración, además, que las energías renovables no cuentan aún con las infraestructuras que las puedan hacer competitivas con industrias que llevan décadas desarrollándose, que disponen de personal técnico bien formado, de proveedores, de apoyo financiero y de clientes.

La Tabla I.4 muestra una de las estimaciones llevadas a cabo sobre la disponibilidad de fuentes de energía renovable.

*Tabla I.4*  
*Fuentes de energía renovables estimadas sobre la superficie de la Tierra.*

| <b>Fuente</b>   | <b>Cantidad total</b>   | <b>Cantidad recuperable</b> |
|---|-------------------------|-----------------------------|
| Radiación solar   | 90000 TW                | 1000 TW                     |
| Viento  | 1200 TW                 | 10 TW                       |
| Oleaje  | 3 TW                    | 0.5 TW                      |
| Mareas  | 30 TW                   | 0.1 TW                      |
| Flujo geotérmico  | 30 TW                   | —                           |
| Cosecha permanente de biomasa                                     | 450 TW año              | —                           |
| Calor geotérmico almacenado                                       | 10 <sup>11</sup> TW año | > 50 TW año                 |
| Energía cinética almacenada en circulación atmosférica y oceánica | 32 TW año               | —                           |

Se utilizan unidades de potencia, (TW = 10<sup>12</sup> W) porque las fuentes de energía renovable van asociadas a flujos energéticos (es decir energía por unidad de tiempo, o sea, potencia), salvo los tres últimos apartados que se dan en unidades de energía (1 TW año = (10<sup>12</sup> J s<sup>-1</sup> año) x (365 días año<sup>-1</sup>) x 86400 s día<sup>-1</sup> = 3.15 x 10<sup>19</sup> J).

Si se comparan las cifras que aparecen en la Tabla I.4 como energía recuperable, especialmente la relacionada con energía solar (1000 TW), con el ritmo actual de consumo de energía, 13 TW, parece que no deberían existir motivos para el pesimismo, a la hora de conseguir una sustitución de los combustibles fósiles por los flujos de energía renovable. Los precios de la energía serían mucho más elevados que los que se pagan en el momento actual, entre otras razones, porque en el precio de los combustibles fósiles no se incluyen las repercusiones medioambientales a que dan lugar.

Las energías renovables podrían contribuir a resolver los problemas medioambientales que producen los combustibles fósiles y nucleares, solamente, si son capaces de reemplazar de manera significativa la utilización de los combustibles fósiles.

Otra cuestión a tener en cuenta es la necesidad de hacer una revisión del modo en que la sociedad actual hace uso de la energía. Hay personas que consideran necesario recuperar usos de energía del tipo de los que caracterizaban a sociedades agrícolas, mientras que otros son partidarios de hacer valer libremente las leyes de la oferta y la demanda, aunque de ese modo se llegase a que solo una parte de la sociedad pudiera disfrutar de un gasto energético elevado. Una tercera vía podría consistir en conseguir mejoras en la eficiencia de conversión y ahorro energético, y en llegar a un tipo de organización social y modo de vida, con unas necesidades energéticas, mucho menores que las que son características de los países más desarrollados. Para ello sería necesario revisar los modos de producción, la organización de las relaciones económicas entre personas y naciones, e, incluso, los planes de educación.

Si se pretende que las energías renovables hagan una aportación apreciable a solucionar los problemas derivados de los usos energéticos, serán precisas inversiones cuantiosas en investigación y desarrollo, además de legislaciones que eliminen obstáculos a los proyectos en marcha. Habrá que abordar la construcción de nuevas infraestructuras, nuevos sistemas de distribución y organizar instituciones para la regulación de los procesos de fabricación y distribución de los elementos necesarios para los sistemas de transformación de energía. Todo ello indica que en el futuro las energías alternativas constituirán una fuente de nuevos empleos.



## **11. CONCLUSIONES.**

Se han definido energía y potencia y las unidades en que se miden. Se ha expuesto una historia resumida de la utilización de la energía a lo largo de diferentes épocas del desarrollo humano. Se concluyó que con la revolución industrial se produjo un incremento sustancial en el uso de la energía que condujo al desarrollo de sociedades avanzadas, pero que, al mismo tiempo, ha dado lugar a la aparición de problemas de sostenibilidad, medioambientales, sociales y políticos de difícil solución.

Con el fin de buscar posibles soluciones, se ha hecho un análisis de la forma en que se hace uso de la energía, tanto en sociedades avanzadas, como en países menos desarrollados.

Se ha llegado a la conclusión de que una posible solución a muchos de los problemas a que ha dado lugar el uso de la energía la pueden aportar las energías renovables. Tras definir este término, se ha hecho una introducción a las fuentes de donde se derivan los flujos de energía renovable. Se ha llegado a la conclusión de que la solución a los problemas energéticos actuales no solo es cuestión de encontrar nuevas fuentes de energía, sino que también hay que tratar de cambiar los hábitos que se han impuesto en el último siglo en el uso de la energía.