

# ENERGÍAS RENOVABLES: EÓLICA Y FOTOVOLTAICA

21

ARICO | 6 - 10 OCTUBRE | 20 HORAS

Ayuntamiento de Arico

## DIRECTOR

*Francisco Jarabo Friedrich*

Doctor. Profesor Titular de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna.

## CONTENIDOS

El aprovechamiento de las energías renovables en Canarias, concretamente la solar y la eólica, se encuentra muy alejado de su potencial. Esto es debido a una serie de razones, entre las que destacan la insuficiente implicación de recursos públicos para su fomento y la falta de una cultura social que demande de forma efectiva este tipo de infraestructuras energéticas. La reciente entrada en vigor del Protocolo de Kyoto y el consiguiente compromiso del gobierno del Estado en la revisión del Plan Energético Nacional y el impulso a las energías renovables, son aspectos que indican que se va a producir un incremento del interés en este sector, por lo que los estudios que aquí se proponen pueden tener gran importancia en el momento actual y futuro. Se pretende, pues, desarrollar unos contenidos que de forma rigurosa y científica, a la vez que divulgativa, sirvan para potenciar socialmente el uso de las nuevas fuentes de las que las Islas Canarias están bien dotadas. Se sentarán las bases de la utilización de la energía haciendo especial hincapié en las fuentes solar y eólica. Asimismo trazarán los diversos aspectos económicos y ambientales que su uso conlleva.

# FUENTES DE ENERGÍA

## Índice

CONCEPTOS FUNDAMENTALES .....	2
El rendimiento de los sistemas energéticos .....	4
Conversión y utilización de la energía .....	6
Unidades de energía y potencia .....	7
LA ENERGÍA COMO BASE DE LA CIVILIZACIÓN ACTUAL .....	7
La Revolución Industrial .....	8
El siglo XX hasta la crisis energética .....	10
Desde la crisis de 1973 hasta la actualidad .....	11
RECURSOS ENERGÉTICOS .....	13
Fuentes de energía no renovables .....	14
Fuentes de energía renovables .....	18

# CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La energía es definida corrientemente en los textos de Física como *la capacidad para realizar un trabajo*, aunque de forma más general se puede afirmar que es *la medida de la capacidad de un sistema para proporcionar trabajo por medios mecánicos o calor por medios no mecánicos*.

Aunque se habla de distintas formas de energía, en el momento actual la Física sólo reconoce la existencia de la **energía mecánica** en sus dos formas, cinética y potencial, y de la **energía interna de los cuerpos**. Los demás conceptos que se manejan corrientemente como formas de energía son realmente mecanismos de transporte o transferencia de energía y se siguen utilizando, sin embargo, para expresar el origen de la energía que se manifiesta en un momento determinado o para expresar el modo en que se ha obtenido. Así, se manejan las siguientes denominaciones:

- **Energía mecánica**, asociada al movimiento de una masa (cinética) o debida a que sobre dicha masa actúa una fuerza dependiente de la posición (potencial).
- **Energía eléctrica**, asociada a un flujo de cargas eléctricas o a su acumulación.
- **Energía electromagnética**, no asociada a la materia, sino a la propagación de la radiación electromagnética.
- **Energía química**, resultante de la interacción de electrones de dos o más átomos, que se combinan para producir compuestos químicos más estables.
- **Energía nuclear**, resultante de la interacción de partículas subatómicas, con la formación de núcleos más estables.
- **Energía térmica**, asociada a estados de movimiento de los átomos o moléculas constituyentes de la materia.

La conversión de los diferentes tipos de energía está determinada por los dos **Principios de la Termodinámica**, los cuales limitan estos procesos y confieren a la energía térmica un carácter especial ya que, aunque las otras formas de energía son transformables en calor, la recíproca no es cierta, existiendo una importante e inevitable pérdida en este último caso.

Los dos Principios de la Termodinámica se pueden enunciar de varias formas, por ejemplo:

1. *La energía no se puede crear ni destruir, sólo puede transformarse de una de*

*sus formas a otra.*

2. *La energía se degrada continuamente hacia una forma de energía de menor calidad: energía térmica.*

Considerando globalmente ambos Principios, se puede constatar que, aunque la cantidad de energía del Universo es constante, su calidad está cambiando hacia una forma menos útil, lo que se puede interpretar como que siempre se tiende hacia un mayor desorden del Cosmos. En otras palabras, un sistema y su entorno tiende hacia un desorden mayor (salvo que sea alimentado con energía procedente del exterior), asociándose ese desorden creciente con el término *entropía*.

Con estas ideas se pueden enunciar los dos Principios de la Termodinámica de la siguiente forma:

1. *La energía total del Universo es constante.*
2. *La entropía total del Universo aumenta continuamente.*

Lo que realmente indica el Segundo Principio es que ninguna conversión de una forma de energía en otra tiene un 100% de eficacia, dado que parte de la misma se transforma en energía térmica, no recuperable. Aunque la cantidad de energía se conserva, hay fracciones que no son aprovechables (energía residual) por lo que, a efectos prácticos, parece que siempre se desperdicia cierta cantidad de ella.

En definitiva, los Principios de la Termodinámica se pueden enunciar también de la siguiente manera, que quizá permita su comprensión de forma más sencilla:

1. *No se puede obtener algo por nada, sólo se puede llegar a un intercambio equivalente.*
2. *Ni siquiera se puede lograr un intercambio equivalente; sólo se puede perder, porque hay cambios no recuperables.*

Existen, pues, fuertes implicaciones de los Principios de la Termodinámica en la vida cotidiana. Por un lado, cuanto mayor sea el esfuerzo para lograr un mayor nivel de vida, que implica un consumo energético superior, tanto mayor desorden se producirá en los sistemas energéticos utilizados (por ejemplo, mayor contaminación). Por otro lado, y también según el Segundo Principio, toda la energía no puede ser reciclada. La energía utilizada en cualquiera de sus formas siempre acaba disipándose en forma de energía térmica degradada. Por ello no se puede realmente *conservar* la energía, en el sentido estricto de la palabra; sólo se puede intentar disminuir la

velocidad de degradación de la energía, lo que se logrará procurando alcanzar mayores rendimientos de conversión de la energía disponible en energía útil.

## El rendimiento de los sistemas energéticos

Se utilizan los términos equivalentes de *rendimiento*, *eficacia* o *eficiencia* de forma muy amplia para indicar la bondad de un sistema respecto a un sistema ideal. En función del concepto de idealidad que se defina, se pueden considerar rendimientos energéticos, económicos y sociales, expresiones todas ellas aplicables al estudio de los sistemas que transforman energía.

Respecto a los rendimientos energéticos, el Primer Principio indica que, cuando la energía se convierte de una de sus formas a otra con producción de trabajo, parte de la misma se disipa en forma de calor. La cantidad de calor disipado es una medida del **rendimiento de un dispositivo**: esta definición es el resultado de un simple balance energético, y es la forma más usual de considerar la eficacia técnica. Así, un dispositivo que deba quemar combustible para producir energía mecánica (motor) tendrá rendimientos muy bajos (entre el 30 y el 40%), si es para producir calor (caldera) tendrá rendimientos superiores (del orden del 60 al 70%), mientras que un dispositivo que evite completamente el uso del calor (turbina hidroeléctrica) puede tener rendimientos superiores al 90%.

Los rendimientos de un dispositivo son útiles para determinar los flujos de energía y comparar aparatos y procesos de un tipo particular bajo condiciones específicas; sin embargo, no son adecuados como indicadores del ahorro energético. Esto es debido a que en todos los procesos, además de producirse pérdidas en la cantidad de energía, se producen pérdidas en su calidad. Por ello el uso de la magnitud definida plantea varios problemas:

- Su valor máximo depende del sistema y de la temperatura.
- No enfatiza adecuadamente el papel de un sistema global al determinar el posible rendimiento del uso de la energía.

Por todo ello, una medida más útil del rendimiento debería tener en cuenta las pérdidas, tanto de cantidad como de calidad, mostrando la bondad de un sistema en comparación con uno ideal, que no pierda ni cantidad ni calidad. En otras palabras, se trata de buscar una medida del funcionamiento relativa al óptimo permitido. Este

**rendimiento de un sistema** que permite determinar la bondad de una tarea, no de un aparato, e indica que, para un rendimiento termodinámico máximo (expresado por el Segundo Principio), es necesario coordinar la tarea a realizar con la fuente de energía apropiada.

Por ejemplo, una estufa doméstica de carbón sólo tiene un rendimiento del sistema del 5% (energía necesaria para mantener la vivienda a una temperatura respecto a la energía contenida en el combustible), mientras que el rendimiento del dispositivo oscila alrededor del 60% (energía proporcionada por la combustión respecto a la energía contenida en el combustible). En este caso, para maximizar la tarea de calentar la vivienda, se debería sustituir la estufa por un sistema de calefacción por energía solar que, al operar a un nivel térmico inferior, puede proporcionar rendimientos del sistema superiores, con un rendimiento del dispositivo similar al de la estufa.

El **rendimiento económico** de un sistema energético se mide comparando el coste de los sistemas de conservación de energía con el coste de la energía consumida sin conservación de energía. Estas comparaciones se hacen considerando la inversión de capital inicial, la fiabilidad de la fuente de energía y las previsiones de aumento del coste de la misma. Así pues, la eficacia económica es una medida relativa, pero está claro que un aumento de los costes de la energía haría que, aunque los costes iniciales de la conservación de la energía sean generalmente altos, el rendimiento económico del sistema global pueda aumentar.

Finalmente, el **rendimiento social** intenta medir las implicaciones sociales del uso de la energía, a las que no se les puede asignar un coste numérico. Así, el rendimiento energético de un automóvil varía muy poco cuando va ocupado por cinco personas en vez de por una, pero el rendimiento social evidentemente cambia de forma ostensible, ya que se produce un ahorro considerable de energía.

Gran parte de la ineficacia social de la energía usada en los países industrializados es el resultado de unos hábitos descuidados adquiridos por la abundancia de energía barata. Al aumentar los costes de las fuentes de energía, necesariamente han de alterarse estos hábitos para que no disminuya bruscamente el rendimiento social. Esto no es un proceso simple, ya que los seres humanos difícilmente aceptarían reducir su nivel de vida de forma espontánea.

## Conversión y utilización de la energía

Desde el punto de vista de la utilización de la energía, es necesario distinguir entre aquélla que se obtiene directamente de la Naturaleza, antes de cualquier transformación por medios técnicos (**energía primaria** o recursos energéticos) y que, por tanto, corresponde a un tipo de energía almacenada, de aquellas otras que deben sufrir una o varias transformaciones (energía secundaria o energía intermedia), para alcanzar la forma de la energía deseada por el consumidor (**energía útil** o energía final).

La conversión de las diferentes energías primarias (combustibles fósiles, combustibles nucleares o fuentes renovables) en las formas de energía útil (calor, trabajo mecánico, iluminación), entraña una serie de operaciones o procesos, formando *cadena energética*. Toda cadena energética, de acuerdo con el Segundo Principio, trae consigo una pérdida de energía, siendo ésta función de los sistemas de transformación (nivel tecnológico) seleccionados para el tipo de energía primaria utilizada. Al ser las pérdidas dependientes de la cadena energética, la producción de una cantidad dada de energía útil exige diferentes consumos de energía primaria.

En efecto, con una determinada fuente de energía puede producirse una cantidad de energía útil muy inferior a otra, debido a que las tecnologías disponibles para cada cadena energética a partir de diferentes energías primarias son también distintas. Así, la importancia relativa de las diferentes energías primarias sólo puede apreciarse mediante el conocimiento de su utilización y posibilidades de sustitución. Importancia que, a su vez, depende del desarrollo de las tecnologías y que, por tanto, ha variado de forma sustancial a lo largo de la Historia.

La característica fundamental de las energías intermedias radica en la facilidad de su transporte y distribución. El ejemplo más importante de energía intermedia es la electricidad, producida a partir de diferentes energías primarias y transformable en diferentes energías útiles. Asimismo, los productos derivados del petróleo (gasolina, gas-oil, etc.) constituyen otra energía secundaria de gran importancia. Se contemplan para el futuro el etanol y el hidrógeno como energías intermedias de gran importancia.

Finalmente, la energía útil se obtiene como resultado de restar a las energías primarias las pérdidas ocasionadas en su transformación en energías secundarias, transporte, distribución y utilización de las mismas, pérdidas que pueden estimarse en

un 50% del valor de la energía primaria. De ahí la gran importancia de tratar de disminuir el coeficiente de pérdidas o lo que es lo mismo, establecer una adecuada política de ahorro energético.

## **Unidades de energía y potencia**

Un concepto de gran importancia práctica en la ingeniería de los sistemas productores de energía útil es el de *potencia*, definida como el trabajo desarrollado en la unidad de tiempo y equivalente a la velocidad con que se produce una determinada forma de energía. Generalmente se tiende a utilizar como unidades de energía y potencia el Julio (J) y el Watio (W), respectivamente, al ser éstas las unidades recomendadas por el Sistema Internacional. No obstante, aún se está lejos de conseguir una unificación en la práctica por publicaciones y usuarios.

# **LA ENERGÍA COMO BASE DE LA CIVILIZACIÓN ACTUAL**

Toda la civilización ha sido construida tomando como base el descubrimiento y dominio de nuevas fuentes de energía para el uso humano de una forma cada vez más eficiente y con medios cada vez más sofisticados. En realidad, el mayor descubrimiento individual en la historia humana tiene que ver con los métodos para convertir la energía química contenida en la madera en calor y luz.

Fue tal vez hace medio millón de años cuando los primeros homínidos descubrieron el fuego, pero el descubrimiento de sus virtudes no llegó hasta que la curiosidad venció al miedo. Durante centenares de miles de años los seres humanos sólo pudieron hacer uso del fuego manteniéndolo encendido de forma constante. Fue solo en tiempos relativamente recientes cuando el ser humano aprendió a encender una llama, momento en que el fuego llegó a ser verdaderamente dominado.

En los primeros días de la civilización, el fuego se empleó no sólo para la iluminación, calefacción, protección y cocina, sino también, llegado el momento, para el aislamiento de los metales a partir de sus menas y para su manejo después, para la cocción de la cerámica y de los ladrillos e incluso para fabricar vidrio.

Por otra parte, hacia el año 9000 a.C. los seres humanos comenzaron las

prácticas de la agricultura y de la ganadería, y de ese modo incrementaron el abastecimiento de alimentos y, respecto de los animales, encontraron una fuente directa de energía. Estos aportaron unos músculos más potentes para llevar a cabo tareas necesarias, empleando como combustible unos alimentos demasiado burdos como para que los seres humanos pudiesen comerlos.

Hacia el año 3500 a.C. se inventó la rueda, que no constituyó una fuente directa de energía, pero sí una fuente de ahorro, ya que reducía el gasto de energía para vencer el rozamiento. Asimismo, hacia esa época las primitivas balsas empezaron a emplearse para transportar cargas con ayuda de la energía de una corriente de agua.

Hacia el año 2000 a.C. comenzaron a utilizarse las velas para captar la energía del viento, por lo que ésta aceleró el transporte e incluso pudo forzar a un navío a moverse en contra de la fuerza de las corrientes. Hacia el año 1000 a.C. los fenicios surcaban ya toda la extensión del Mar Mediterráneo.

Aproximadamente hacia el año 50 a.C. los romanos empezaron a emplear la rueda hidráulica para realizar diversos trabajos: moler grano, tritular menas, bombear agua, etc. En ese tiempo también entraron en uso los molinos de viento que, posteriormente, en los tiempos medievales, constituyeron una importante fuente de energía en Europa Occidental. Fue asimismo en los tiempos medievales cuando los seres humanos comenzaron a quemar unas piedras negras llamadas *carbón* en los hornos metalúrgicos, a emplear la energía magnética para las brújulas de los barcos y a usar la energía química (pólvora) para la guerra.

## La Revolución Industrial

La subordinación de la energía al ser humano alcanzó su momento trascendental hacia finales del siglo XVII, cuando el británico Thomas Savery patentó en 1698 su *ingenio de vapor* que, basado en el *digestor de vapor*, diseñado en 1679 por el francés Denis Papin, sirvió para extraer agua de minas o pozos. Pero el invento resultaba peligroso (la alta presión del vapor solía hacer reventar calderas o tuberías) y poco eficaz (se perdía el calor del vapor cada vez que se enfriaba el recipiente).

Siete años después, Thomas Newcomen construyó una máquina más perfecta, con pistón y cilindro, que funcionaba a bajas presiones. Tampoco tuvo mucho éxito Newcomen y la máquina de vapor siguió siendo un artilugio secundario durante más

de sesenta años hasta que, en 1782, James Watt desarrolló su máquina de vapor, tres veces más potente que su predecesora y que se convirtió en el estandarte de la civilización mecanizada.

En épocas posteriores se acrecentó sin cesar la eficacia de la máquina de Watt, principalmente mediante la aplicación de vapor cada vez más caliente a presiones cada vez más altas. Esto llevó a que muchos países adoptaran la energía de la máquina de vapor, lo que produjo un abandono de los campos y de las industrias domésticas, iniciándose la denominada Revolución Industrial.

La máquina de vapor revolucionó también el transporte. Dentro del transporte marítimo, en 1787 el americano John Fitch construyó el primer barco de vapor funcional, pero su aventura fue un fracaso financiero. Diez años después, Robert Fulton botó su barco de vapor con tanta publicidad, que se le consideró su inventor. A partir de 1830, los barcos de vapor cruzaron ya el Atlántico propulsados por hélices, una mejora considerable en comparación con las ruedas laterales de palas.

En 1884 un ingeniero británico, Charles Parsons, ideó una gran mejora de la máquina de vapor relativa a los buques: en vez de que el vapor hiciese funcionar un pistón que, a su vez, movía una rueda, dirigió una corriente de vapor directamente contra las paletas de la rueda, con lo que ésta podría resistir más calor y alcanzar mayores velocidades. Se había inventado la primera *turbina de vapor* práctica, y no pasó mucho tiempo antes de que todos los barcos fuesen movidos por este tipo de turbinas.

Mientras tanto, en el transporte terrestre también comenzaba a dominar la máquina de vapor. En 1814, el inglés George Stephenson, basándose en trabajos anteriores de Richard Trevithick, construyó la primera locomotora funcional de vapor. El movimiento alternativo de los pistones movidos a vapor pudo hacer girar las ruedas sobre los rieles de igual manera que había hecho girar con anterioridad las ruedas de palas en el agua. Alrededor de 1830, el americano Peter Cooper construyó la primera locomotora comercial de vapor y en 1869 ya había quedado cubierta toda la superficie de los EE.UU. por una red ferroviaria.

Todos estos avances fueron conseguidos gracias a la formulación del Primer Principio de la Termodinámica por Heinrich von Helmholtz en 1847 y el Segundo Principio por Rudolf Clausius en 1850, ya que de esta forma se pudo comprender el

funcionamiento de las máquinas de vapor.

A mitad del siglo XIX, el desarrollo tecnológico no había alcanzado el punto en que se requiriesen fuentes de energía especiales. De hecho, hasta 1865 la madera fue la principal fuente energética, que proveía entre el 80 y el 90% del combustible necesario.

Aunque desde 1820 había comenzado la explotación a gran escala del carbón, en 1859 comienza a utilizarse el petróleo, al perforar Edwin Drake el primer pozo petrolífero de la historia, en Pennsylvania (EE.UU.). Durante los siguientes 50 años los usos del petróleo resultaron limitados, pero con la llegada del motor de combustión interna (Nikolaus Otto, 1876) empezó a existir una gran demanda de petróleo.

En contrapartida, con la creciente disponibilidad del petróleo, se produjo una gran explosión de nuevos inventos tecnológicos: el generador eléctrico (Friedrich von Hefner, 1872), la luz eléctrica (Thomas Edison, 1879) y el automóvil (Gottlieb Daimler y Karl Benz, 1885). La primera central eléctrica de corriente alterna, construida por George Westinghouse en 1893, significó además el comienzo de un sistema de distribución de energía de uso cotidiano.

## **El siglo XX hasta la crisis energética**

El uso de la energía aumentó bruscamente durante la primera década del siglo XX, siendo necesario doblar la producción de carbón y cuadruplicar la de petróleo. Asimismo, la producción de energía eléctrica casi se triplicó en cinco años (de 1902 a 1907) y, sobre 1917, el consumo de electricidad era más de siete veces mayor de lo que era a principios de siglo.

Después de la Primera Guerra Mundial, la producción de carbón comenzó a caer estrepitosamente. En 1918, su consumo era seis veces superior al del petróleo, en 1925 sólo era tres veces mayor y en 1930, era sólo del doble. Finalmente, el consumo de petróleo superó al de carbón justo después de la Segunda Guerra Mundial y siguió creciendo posteriormente.

Finalmente, el ser humano descubrió la energía nuclear. Los primeros estudios sobre materiales radiactivos se llevaron a cabo en Francia y Gran Bretaña a finales del siglo pasado. Pero fue en 1938, en Alemania, cuando Otto Hahn logró la primera fisión artificial del átomo de uranio; en 1942, Enrico Fermi construyó el primer reactor nuclear

en EE.UU. A pesar de las esperanzas de rápido desarrollo, esta fuente de energía ocupaba, a mitad de los años setenta, sólo una pequeña parte de la producción mundial de energía. En 1973 se consumían en el mundo más de 6.000 millones de tep (toneladas equivalentes de petróleo) y en ese momento comenzó la llamada crisis *energética*.

## **Desde la crisis de 1973 hasta la actualidad**

A comienzos de los años setenta se hizo patente que los combustibles fósiles, que durante tanto tiempo habían sido la base en que se fundamentaba el mundo moderno, podían quedar agotados en un futuro no demasiado lejano. Por primera vez se invertía la relación entre el ritmo de descubrimiento de reservas y el crecimiento del consumo, con lo que ante la Humanidad se presentaba la perspectiva realista, basada en evaluaciones científicas, de que el agotamiento de estos recursos se produciría durante la próxima generación.

Este hecho y factores de tipo económico indujeron a los países de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo), que en 1973 controlaban el 67% del mercado mundial de los crudos, a decretar un embargo petrolífero, con el consiguiente aumento de los precios de los crudos. Posteriormente, y como consecuencia de un círculo vicioso, estos precios siguieron subiendo, produciéndose otro aumento brusco en 1979 (*segunda crisis del petróleo*).

Las dos crisis sucesivas del petróleo hicieron pasar la factura petrolera del 0,5 al 5% del producto interior bruto mundial. Esto significó que el 4,5% de la renta mundial fue a parar directamente a unos pocos países para pagar prácticamente los mismos bienes que se estaban comprando antes de la crisis, lo cual produjo en primer lugar una fuerte caída en la demanda, y a continuación una gigantesca ola inflacionista, producida por unas políticas económicas relajadas que trataban de luchar contra la crisis.

En los países exportadores, este enorme flujo de riqueza no supo ser aprovechado adecuadamente, llevándose a cabo proyectos de dudosa rentabilidad o que nunca funcionaron y que acabaron con la mayor parte de las rentas recibidas.

Sin embargo, el mundo industrializado reaccionó de forma diferente. Un fuerte endurecimiento de las políticas monetarias reduciría drásticamente la inflación, el

aparato industrial era reconvertido a costa de un duro ajuste y los consumos de petróleo, drásticamente reducidos. Aunque la demanda de petróleo se mostraba altamente inelástica a corto plazo, se comprobaría que no sucedía lo mismo a largo plazo.

Todo ello llevó a que la demanda mundial de petróleo por habitante fuera en 1985 un 12% inferior a la de 1973 y, lo que es más importante, a una reducción del mercado controlado por la OPEP, que ha pasado a sólo el 32%. Esta pérdida de control y la falta de solidaridad manifiesta de los miembros de la organización, incumpliendo los acuerdos sobre cantidades y precios, hicieron inevitable un hundimiento del mercado.

Este hundimiento se produjo a principios de 1986, situándose los precios del petróleo alrededor de 12 dólares/barril y estabilizándose en los años siguientes en una banda comprendida entre 15 y 20 dólares/barril. El consumo en 1997 era de alrededor de una 9.000 millones de tep, pero su estructura seguía siendo muy similar a la de 25 años antes. En los primeros años del siglo XXI, el precio del petróleo llega a alcanzar los 80 dólares/barril

En este marco, las políticas energéticas de los países desarrollados siguen manteniendo los objetivos de desarrollo económico, seguridad de suministro y protección del medio ambiente, para lo que son instrumentos válidos la diversificación de fuentes energéticas y sus procedencias, la mejora de la eficiencia en el uso y conservación de la energía y la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

La Historia ha enseñado al ser humano que se requieren muchos decenios para pasar de una fuente energética a otra. Así, la sustitución de la leña por el carbón y después, de éste por el petróleo, necesitó más de medio siglo. Estos cambios se realizaron en condiciones favorables de crecimiento económico rápido y disminución constante de los costes de las nuevas fuentes de energía. En cambio, de ahora en adelante, la tarea de mantener un aprovisionamiento suficiente será, en muchos aspectos, más difícil. La población mundial se está incrementando actualmente a un ritmo sin precedentes, previéndose su duplicación en los próximos 50 años. Por otro lado, debido a la marcada influencia de la actual estructura energética en el nivel de vida de todos los países del mundo, el agotamiento de estos recursos naturales implica un gran desafío. Parece pues que, con la crisis energética se ha abierto una etapa de

transición, que podría durar hasta que se logre sustituir la actual fuente de energía por otra.

Mientras tanto, el consumo de hidrocarburos seguirá siendo fundamental para el funcionamiento de la sociedad, siendo necesario diversificar las fuentes de energía, según las condiciones y posibilidades de cada país, para que cada comunidad procure encontrar su propia alternativa energética en función de sus recursos naturales.

El despertar de la responsabilidad en el campo energético de todos los países del mundo debe ir acompañado de una labor de clarificación de conceptos a la opinión pública. Aunque ya se ha producido una mayor sensibilización de la misma frente a la necesidad de emprender políticas de conservación y ahorro energético, todavía es necesario proceder a una amplia información relativa a la imprescindible adopción de tecnologías basadas en soluciones energéticas alternativas, principalmente de aquellas procedentes de fuentes renovables.

Algo sí es seguro, y es que los modelos predominantes de crecimiento ya no pueden seguir basándose en los actuales sistemas energéticos. Estudios recientes han demostrado que, dado que suele existir una marcada correlación positiva entre el grado de desarrollo de un país y su utilización de energía, es posible elaborar estrategias de desarrollo que requieren un consumo de energía menor que en el pasado. Los nuevos sistemas energéticos habrán de elaborarse para todos los países sobre la base de una mayor diversificación y autosuficiencia y de un aumento considerable de la utilización eficaz de las fuentes de energía.

## **RECURSOS ENERGÉTICOS**

Los alrededor de 7.000 millones de habitantes que pueblan la Tierra utilizan aproximadamente unos 12 TW de potencia energética, cifra que equivale a alrededor de 1,7 kW/hab. El problema reside en que este valor no es uniforme en todo el mundo: mientras que en los países industrializados es de unos 6 kW/hab, en el resto del mundo (un 75% de la Humanidad) no llega a los 0,5 kW/hab y más de 500 millones de personas viven con un consumo inferior a 0,1 kW/hab. Dicho de otro modo, el consumo de energía reproduce casi exactamente los perfiles del actual sistema económico mundial.

A juzgar por las previsiones más dignas de crédito, en los primeros años del

siglo XXI habitarán en el planeta unos 8.000 millones de personas, que consumirán un promedio de unos 3 kW/hab. Esto representa un consumo energético total de 24 TW, unas dos veces el consumo actual. Cincuenta años después, en el 2050, la Tierra podría contar con 10.500 millones de habitantes, con un consumo medio de unos 5,3 kW/hab, representando un total mundial de 56 TW, unas cuatro veces y media el consumo actual de energía.

En estas condiciones se plantea una cuestión obvia: si las reservas energéticas se están agotando, ¿de dónde se obtendrá toda esa cantidad de energía?. Para contestar a esta pregunta es necesario estudiar la panorámica de los distintos medios energéticos que se encuentran hoy en fase de explotación o investigación y que previsiblemente acompañarán a los seres humanos en su andar hacia el futuro.

A este respecto es imprescindible diferenciar las fuentes energéticas según su origen, ya que de él no sólo dependerá su posible duración sino que además encauzará la tecnología de aprovechamiento de las mismas. Se distinguen así:

- Energías no renovables, de origen terrestre, ya que llevan almacenadas en la Tierra durante millones de años y, por lo tanto, son recursos finitos (capital energético) y de distribución geográfica irregular.
- Energías renovables, que tienen su origen en el flujo continuo de la energía del Sol (renta energética) y se disipan a través de ciclos naturales.

## **Fuentes de energía no renovables**

Dentro de las fuentes de energía no renovables se consideran los combustibles fósiles actualmente utilizados (carbón, petróleo, gas natural), así como el uranio, materia prima imprescindible en la producción de la energía nuclear de fisión. Estas fuentes energéticas son consideradas actualmente como **convencionales**, pero existen otras fuentes alternativas, cuyo estudio para su aprovechamiento a gran escala se ha iniciado hace pocos años: se trata de las pizarras bituminosas y las arenas asfálticas. Curiosamente, España tiene cierta experiencia en la explotación de pizarras bituminosas, de las que un importante yacimiento en Puertollano (Ciudad Real) comenzó a ser explotado en los años cincuenta, yacimiento que entonces era rentable, debido a las dificultades económicas de la época.

Los combustibles fósiles tienen su origen en la descomposición de materiales

biológicos formados hace casi 100 millones de años, estando su energía contenida en los enlaces químicos.

El **carbón** es el principal combustible fósil en cuanto a la cantidad existente. Sus reservas económicamente explotables se cifran en algo más de un billón de toneladas, de las que más del 60% se encuentran en EE.UU., ex-URSS y República Popular China.

En el año 1950 el carbón cubría el 60% de las necesidades energéticas mundiales. En la actualidad, este porcentaje se ha reducido a la mitad, siendo la cifra de producción absoluta de aproximadamente 4.000 millones de Tm/año.

Sin embargo, la utilización del carbón plantea una serie de problemas aún no resueltos totalmente; a las grandes dificultades derivadas de su explotación y transporte hay que añadir los problemas ambientales, ya que el carbón produce en su combustión compuestos contaminantes. Por estos motivos se están investigando diversos modos de transformar el carbón en un combustible líquido o gaseoso, para poder utilizarlo más eficazmente.

Los procesos de licuefacción del carbón consisten en el paso de la potencia energética almacenada en el mismo a otros derivados líquidos, que están exentos de cenizas, azufre y otros contaminantes, cuya combustión es controlable y cuyo manejo es más fácil. La gasificación del carbón, proceso más drástico que el de la licuefacción, produce gases combustibles de composición variable que pueden ser utilizados como tales o ser transformados en combustibles líquidos o en diversos productos químicos.

El **petróleo** es, indudablemente, el combustible fósil más útil, principalmente porque es muy fácil de transportar, y continuará siendo la principal fuente de energía, aunque disminuyendo su participación de una forma progresiva.

Hasta el momento se ha consumido aproximadamente la tercera parte de los 150.000 millones de toneladas descubiertas. De las reservas que quedan sin explotar, más de la mitad se encuentran en Oriente Medio. De cualquier forma existen otros 150.000 millones de toneladas de petróleo que hoy no son económicamente explotables, pero que podrían extraerse por procedimientos muy costosos.

Los productos que se pueden obtener de esta fuente de energía son de sobra conocidos, siendo procesado el petróleo tanto en refinerías como en complejos petroquímicos, donde se utiliza como materia prima para la obtención de muy

diversos e importantes productos de la vida cotidiana actual (por ejemplo, los plásticos).

El **gas natural** es un combustible limpio y conveniente, con buenas aplicaciones en los más diversos sectores. Las reservas mundiales son amplias, unos 65.000 millones de tep, aunque el futuro papel del gas natural como fuente energética vendrá determinado no sólo por sus reservas, sino también por cómo se resuelvan los problemas de transporte y distribución del gas desde los pozos a los consumidores y por las políticas de exportación seguidas por los países productores.

Actualmente la mayor parte del gas natural se transporta por gasoductos, habiéndose construido a lo largo de todo el mundo más de 50.000 km de tuberías destinadas a tal fin, lo que representa una importantísima infraestructura de distribución de esta fuente de energía.

Los **combustibles fósiles alternativos**, pizarras (o esquistos) bituminosas y arenas asfálticas (alquitranadas) presentan un lazo de parentesco geológico bastante estrecho con el petróleo. Sin embargo, las primeras preceden al petróleo, mientras que las segundas son el resultado de la degradación de los crudos clásicos.

Las **pizarras bituminosas** son rocas ricas en querógeno, sustancia orgánica sólida precursora del petróleo que se descompone en hidrocarburos cuando queda hundida a varios miles de metros de profundidad y sometida a temperaturas de 60 a 110 °C. Cuando la roca se encuentra a escasa profundidad (bajas presiones y temperaturas), como sucede con las pizarras, el querógeno permanece estable y sólo se pueden generar los hidrocarburos por procedimientos técnicos tales como la pirólisis. Las pizarras bituminosas constituyen, pues, la roca madre potencial del petróleo, que no ha sufrido hundimientos bajo nuevas capas sedimentarias ni la consiguiente elevación de temperatura.

Por el contrario, las **arenas asfálticas** se sitúan mucho más tardíamente en la geología del petróleo. De hecho, se trata de yacimientos de crudo clásico que se han acumulado en zonas porosas (arenas), donde se han degradado las fracciones más ligeras, mientras que los componentes pesados han permanecido intactos. Es decir, el petróleo normal ha sido progresivamente modificado hasta formar un alquitrán pesado, viscoso y muy a menudo rico en azufre atrapado en bolsas de arena, lo cual hace que se le conozca como arena asfáltica o alquitranada.

Las reservas de estos combustibles fósiles son muy importantes, del orden de 350.000 millones de tep, pero su actual utilización es muy pequeña, debido a los problemas inherentes a la extracción del combustible de las rocas que lo acompañan. Aunque se han propuesto diversos sistemas de recuperación del combustible, siguen las investigaciones al respecto, buscando mejorar las tecnologías existentes e intentando desarrollar otras nuevas que permitan reducir los elevados costes actuales de producción.

El **uranio** es el combustible fundamental para la obtención de energía nuclear de fisión. Este proceso consiste en bombardear un núcleo de uranio con neutrones que provocan su división (fisión) en núcleos más ligeros, originando una reacción en cadena que libera enormes cantidades de energía.

La primera reacción nuclear en cadena se produjo en Chicago (EE.UU.) en 1942. Desde entonces están en funcionamiento, construcción o en proyecto más de 550 centrales nucleares, con una potencia de más de 400.000 MW. La demanda actual de uranio (30.000 Tm/año) es inferior a la oferta (50.000 Tm/año), situación que se conservará hasta casi finales de siglo, según sea el crecimiento de la potencia nuclear instalada. Así, puede decirse que las reservas de uranio garantizan suministros de materia prima energética durante los próximos 15 ó 20 años, utilizando reactores térmicos tradicionales y que si continúan estos sistemas, en el primer cuarto del siglo XXI se agotará esta fuente de energía.

Son del dominio público las incertidumbres que rodean a la fisión nuclear, tanto respecto a su seguridad como a su aceptación. Aún ausentes estos problemas, existen razones sustanciales para dudar que la fisión nuclear pueda ser utilizada en la escala necesaria para evitar una dependencia continuada y creciente de los combustibles fósiles, por lo menos en las próximas décadas.

Finalmente, no se puede hablar de la energía nuclear sin citar la debida al proceso de fusión, consistente en unir dos núcleos ligeros (deuterio y tritio, isótopos del hidrógeno) para formar uno más pesado (helio), de menor contenido energético, con lo que se liberan grandes cantidades de energía. Obsérvese que el deuterio puede obtenerse en cantidades ilimitadas a partir del agua del mar y el tritio se obtiene irradiando con neutrones el litio (elemento muy abundante) en el reactor de fusión. En este caso, pues, no existe problema alguno de disponibilidad de combustible, por lo

que se está tratando con una energía renovable, cuyo residuo de operación es limpio.

Sin embargo, no se ha incluido su estudio bajo el apartado de las fuentes renovables de energía, dado que la fusión nuclear sólo se conoce sobre la Tierra en forma de bomba de hidrógeno, ya que aún la tecnología no ha hecho factible los reactores de fusión, que no se espera que sean comerciales antes del año 2050. Ello es debido a que, para obtener una reacción de fusión, hay que someter el combustible a temperaturas de varios millones de grados durante el tiempo suficiente, lo que hasta ahora sólo ha logrado la Naturaleza, ya que el Sol es realmente un inmenso reactor de fusión que proporciona las denominadas *energías renovables*.

Como resumen del estudio de las fuentes de energía no renovables, los recursos mundiales estimados de dichas energías (datos que suelen ser discrepantes unos de otros, según la bibliografía consultada), han sido clasificadas en tres grupos por su importancia económica:

- Grupo 1: Fuentes de importancia económica actual a nivel regional, con tecnologías plenamente desarrolladas.
- Grupo 2: Fuentes de poca importancia económica actual a nivel regional o con tecnologías poco desarrolladas y que presentan interés a medio plazo.
- Grupo 3: Fuentes no utilizables actualmente, con tecnologías poco o nada desarrolladas y que presentan interés a largo plazo.

## Fuentes de energía renovables

Las fuentes de energía renovables son aquéllas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra, y que tiene su origen en el Sol, aunque en ciertos casos existe una cierta contribución de los campos gravitatorios terrestre y lunar.

Aunque el 30% de la energía procedente del Sol es reflejada por la atmósfera terrestre, el 70% restante la atraviesa experimentando o no cambios en sus características, lo que da lugar a las distintas fuentes renovables de energía, cuyas formas de captación y aprovechamiento serán asimismo diferentes.

La energía procedente del Sol que atraviesa la atmósfera sin experimentar cambios sensibles, se denomina **energía solar** directa, siendo la que proporciona a los seres vivos luz y calor.

La diferente distribución de la energía solar en la atmósfera influye asimismo en el movimiento de las masas de aire. Cuando el aire se calienta tiende a subir y es rápidamente sustituido por aire más frío, fenómeno que constituye el origen de los vientos. Por consiguiente, la **energía eólica**, o energía contenida en el viento es una forma indirecta de la energía solar y, por tanto, de naturaleza renovable.

Otra parte de la energía solar que penetra en la atmósfera es absorbida por las plantas verdes para su crecimiento, que la almacenan en forma de energía química. Este es el primer eslabón de lo que se conoce como **energía de la biomasa**, que se extiende posteriormente a todos los seres vivos e inevitablemente está contenida en los diferentes tipos de residuos orgánicos que aquéllos generan.

Por su parte, la energía contenida en el interior de la Tierra o **energía geotérmica** tiene también su origen remoto en el Sol. Muchas veces se considera esta fuente de energía como no renovable, dado que no es debida al flujo energético continuo procedente del exterior de la Tierra. Sin embargo, la continua disipación de la misma debida, entre otras razones, a la fricción de las rocas internas de la corteza terrestre, hace que su flujo se pueda considerar prácticamente inagotable, por lo que se estudia como fuente renovable en diversas ocasiones.

Cuando el agua del mar absorbe la energía solar, se evapora y pasa a la atmósfera. Sin embargo, después de un cierto tiempo, vuelve a caer en forma líquida o sólida, acumulándose a diferentes alturas sobre la tierra. La energía potencial que poseen estas masas de agua situadas a cierta altura se transforma en energía cinética al precipitarse agua hacia zonas más bajas. A la energía contenida por el agua en las condiciones citadas se la denomina **energía hidráulica** y se trata, evidentemente, de una fuente renovable de origen solar.

Finalmente, la acción sobre los océanos de las fuerzas gravitacionales de la Luna, del calor solar y de los vientos originan, respectivamente, tres manifestaciones de la **energía del mar**: mareas, gradientes térmicos y olas que, debido a los fenómenos implicados, se pueden considerar asimismo energías renovables.

Ahora bien, el hecho de que una fuente de energía sea renovable, no quiere decir que sea abundante o que su explotación resulte gratuita. En los últimos años se ha intentado revisar los conocimientos tecnológicos en relación con los diferentes procedimientos para captar y transformar estas fuentes en energía útil al mínimo coste

posible. Debido al gran interés despertado por las mismas en función de su bajo o nulo deterioro del medio ambiente y en relación al posible agotamiento de las fuentes energéticas convencionales, se ha incrementado enormemente el estudio de sus posibilidades de utilización con vistas a encontrar en ellas una alternativa frente a los combustibles fósiles y nucleares.

En la actualidad se admite ampliamente que la dificultad no radica en el desarrollo de una tecnología apropiada para el aprovechamiento de estas fuentes, sino en la mejora de las condiciones económicas, sociales y políticas para lograr la difusión de los principios básicos de dicha tecnología, a fin de que pueda ser usada a gran escala.

Así, deben coincidir una serie de factores para que exista una alta probabilidad de éxito de las tecnologías de aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables, que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Conocimiento de las necesidades y posibilidades.
- Demanda popular.
- Grado de integración en los sistemas energéticos actuales.
- Sencillez y bajo coste de la tecnología.
- Apoyo institucional, tanto educativo como económico.

Todos los factores enumerados constituyen, en definitiva, serias barreras para el desarrollo a gran escala de las fuentes de energía renovables. La complejidad del problema requiere la preparación de planes a largo plazo y una amplia cooperación internacional, en la que participen tanto la iniciativa pública como la privada.