

**3ª Edición**  
*energías alternativas*

---

José A. Domínguez Gómez



# **ENERGÍAS ALTERNATIVAS**

**José A. Domínguez Gómez**



Edición al cuidado de: *Prado Fernández*  
Diseño cubierta e interior: *L. Rolando Potts*  
Maquetación: *David Ruiz*

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc.-, sin el permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

© José Antonio Domínguez  
©EQUIPO SIRIUS

Primera edición: diciembre 1995  
Segunda edición revisada: febrero 2004  
Tercera edición: abril 2008

ISBN: 978-84-95495-88-4

Depósito legal:  
Imprime: Publidisa  
Impreso en España / Printed in Spain

Equipo Sirius, S.A.  
Antequera, 2 28041 Madrid  
Para cualquier duda o consulta o sugerencia: [info@equiposirius.com](mailto:info@equiposirius.com)  
[www.equiposirius.com](http://www.equiposirius.com)

# **energías alternativas**

---

**José A. Domínguez Gómez**



## **Dedicado a mi mujer**

No existe el suficiente espacio en este libro para mencionar a todas las personas, empresas e instituciones que me han prestado su colaboración y ayuda. Tampoco me gustaría dejarme a nadie en el tintero (en este caso, sería en el disquete). A todas ellas, mi más sinceras gracias.

Sin embargo, no puedo olvidar a la persona que me introdujo en este maravilloso mundo de las energías alternativas o renovables, José Miguel Díaz Muñoz, perteneciente al área de tecnología industrial de FYCSA,S.A. (Formación y Consultoría del grupo ALCATEL); mi más profundo agradecimiento hacia él.

Tampoco quisiera olvidarme de todas aquellas instituciones y personas que me han ayudado en la elaboración de este libro, al cederme amablemente material gráfico o fotografías. A todas ellas, gracias.



# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1. EL SOL, FUENTE DE ENERGÍA</b> .....	<b>19</b>
Estructura y Composición.....	19
Espectro Energético .....	21
<b>2. LA TIERRA:</b>	
<b>SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO</b> .....	<b>23</b>
Características Geológicas: Estructura y Composición .....	24
<b>3. BIOMASA Y BIOENERGÍA</b> .....	<b>31</b>
Clasificación de la Biomasa .....	32
Procesos de Conversión Energética de la Biomasa .....	34
Tecnología de la Biomasa .....	37
<b>4. EL AGUA Y SU ENERGÍA</b> .....	<b>39</b>
Energía Hidroeléctrica .....	40
Elementos Necesarios en el Aprovechamiento	
Hidroeléctrico .....	44
Energía Termomarina .....	45
Proyecto Ocean Thermic Energy Conversion. OTEC .....	46
Energía Maremotriz .....	48



<b>5. LA TIERRA Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO .....</b>	<b>51</b>
Localización de Fuentes Geotérmicas .....	53
Yacimientos Geotérmicos.....	54
Futuro de la Energía Geotérmica.....	55
<b>6. EL SOL Y LA ELECTRICIDAD.....</b>	<b>59</b>
Semiconductores .....	61
Células Fotovoltáicas .....	72
Módulo o Panel Fotovoltáico.....	76
Instalación de Paneles o Módulos Fotovoltáicos .....	78
Instalaciones Fotovoltáicas .....	80
Futuro de la Energía Fotovoltáica.....	85
<b>7. EL SOL, FUENTE CALORÍFICA .....</b>	<b>87</b>
Colector Solar .....	93
Instalaciones Fototérmicas.....	95
Futuro de la Energía Fototérmica .....	99
<b>8. EL APROVECHAMIENTO DEL VIENTO.....</b>	<b>101</b>
La Energía Eólica a lo largo del Tiempo .....	102
Fundamentos Físicos de la Energía Eólica .....	104
Máquinas Eólicas .....	105
Conservación y Utilización de la Energía Eólica .....	108
Futuro de la Energía Eólica.....	109
<b>9. BIENESTAR Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....</b>	<b>111</b>
La sequía .....	111
La contaminación.....	113
La casa energética.....	114
<b>EPÍLOGO.....</b>	<b>117</b>

## PRÓLOGO

La revolución industrial del siglo XIX cambió totalmente la forma de vivir, de pensar y de ser del hombre. Antes sabía que sólo podía vivir de la tierra, directa o indirectamente, a través de los animales, del cultivo... pero con la llegada de la máquina de vapor se empezó a oír mucho una palabra: «energía». Obtener energía, que muy pocos sabían qué era exactamente, era imprescindible para que la máquina de vapor funcionara y para esto había que tener carbón en abundancia.

El carbón se convirtió en la base de la economía y aquéllos que no tenían carbón no podían producir energía, con lo que su economía empeoraba y poco a poco se fueron creando grandes diferencias entre unos países y otros. Lo que había ocurrido en épocas anteriores sobre la base del comercio, ocurría entonces a causa del carbón.

El siglo XX y su máquina de combustión fueron dejando a un lado, en un segundo término, a la máquina de vapor y al carbón; ahora la materia prima era el petróleo.

La manera de vivir se enfocó en torno al petróleo y al gas natural procedente de las entrañas de la tierra; de alguna manera, estábamos muy unidos a ella. Sin embargo, a mediados de este siglo el hombre, en su ansia por saber, encontró una nueva forma

de energía que aparentemente no era problemática como lo era el petróleo: la radiactividad y la energía nuclear.

El mundo energético de hoy en día está fundamentado principalmente en estos tres cimientos: petróleo, radiactividad y gas natural. La vida cotidiana tiene como base los compuestos derivados del petróleo o del gas natural. Con ellos funcionan las cocinas, las calefacciones, los medios de transportes, etc. La electricidad que consumimos tiene un origen más diversificado, como las instalaciones de carbón (normalmente llamadas centrales termoeléctricas) o algunos desniveles que hay en las cuencas de los ríos y pantanos construidos no sólo para embalsar agua, sino también para obtener electricidad. A partir de los años 60, una nueva forma de obtener electricidad empezó a tomar fuerza: las conocidas y polémicas centrales nucleares, basadas en la radiactividad de algunos compuestos.

En los años 70 todo se basaba en estas formas de energía; sin embargo, todo cambió cuando en 1973 una gran crisis asoló el mundo. Uno de sus pilares fundamentales, el petróleo, se tambaleaba. Simultáneamente, la crítica a las centrales nucleares iba siendo cada vez mayor, sobre todo a raíz de varios accidentes producidos en algunas de ellas.

Nadie parecía notarlo, pero poco a poco se estaba produciendo un cambio en la forma de pensar de los habitantes de este planeta y muchos se empezaron a hacer una pregunta:

«¿Qué será de nuestro planeta si nosotros no lo cuidamos?». Empezaron a surgir las asociaciones ecologistas, protectoras de nuestro entorno; los partidos verdes y la conciencia ecológica comenzó a ser una realidad.

Las nuevas generaciones de investigadores, como miembros que se sentían de esta sociedad de mentalidad cambiante, propusieron formas equivalentes de obtener energía, llamadas **ENERGÍAS ALTERNATIVAS** por ser formas de energía que sustituirían a las energías convencionales, aquéllas que están ba-

sadas en los derivados del petróleo, gas natural y energía nuclear. Además, el gran propósito de este tipo de energías, obtenidas de la propia naturaleza, era el de defender nuestro entorno, algo que agradaba a la pujante concienciación ecológica.

La nueva filosofía energética tiene su origen en nuestros propios antepasados, que adoraban al Sol y las fuerzas de la naturaleza, las de nuestro planeta. En consecuencia, el mejor aprovechamiento energético que podamos realizar se dará cuando conozcamos con detalle a nuestra estrella, que nos da la luz y la vida, y a nuestro planeta. Conocer el Sol como fuente de energía será nuestro primer objetivo; su estructura, composición, y lo más interesante, su estudio energético, su espectro energético. Una vez conocida nuestra estrella, nos interesaremos por el planeta donde nos encontramos y sobre todo estudiaremos su aprovechamiento energético; conoceremos su estructura y composición, así como las diferentes formas de vida que posee en sus entrañas. Conocidas sus diferentes formas de vida, veremos la forma de obtener energía, estudiando, en consecuencia, la Biomasa o Bioenergía, la energía que de esas formas de vida podemos obtener. Los medios en que se desarrolla la vida serán también objeto de nuestro estudio: el agua, de la cual podemos obtener energía, la Hidráulica, a la que llamamos Hidrográfica si procede de las aguas que fluyen por la corteza terrestre y si se obtiene de las aguas de los mares y océanos, la denominamos Hidrooceánica. Si esta energía es producida por el movimiento de estas aguas, se la conoce por Energía Maremotriz; por el contrario, si la energía es debida a la temperatura que tienen estas aguas, se la denomina Energía Termomarina.

Otro lugar donde se desarrolla la vida es sobre la corteza terrestre, que en algunos lugares sólo actúa como un leve manto térmico que deja pasar la energía procedente de las entrañas de nuestro planeta. Estos lugares tan curiosos tienen un calor procedente de la propia Tierra y que se puede aprovechar de diversas maneras; este tipo de energía se llama Geotérmica.

El otro lugar donde se desarrolla un curioso tipo de vida es el aire; su violencia en algunos momentos es aterradora, pero no dejemos que nos aterre el fuerte viento o cualquier otro acontecimiento producido por este fenómeno atmosférico y aprovechemos toda su fuerza transformándola en energía, más conocida como Energía Eólica.

Vistas todas las posibilidades energéticas que nos ofrece nuestro planeta, estudiaremos la energía que nos proporciona nuestra estrella, la Energía Solar, en sus dos facetas energéticas; para la obtención de energía eléctrica (energía Fotovoltáica) y para obtener calor (energía Fototérmica).

Una vez visto toda la oferta energética, cada uno podrá sacar sus propias conclusiones, las cuales nos llevarán a plantearnos diversas cuestiones; también nos referiremos a los lugares donde nos pueden resolver nuestras dudas, llegando así a la plena comprensión del problema energético y de cómo podemos obtener el máximo partido de estas fuentes tan cercanas y prácticamente inagotables.



## INTRODUCCIÓN

A finales de los 80 y principios de los 90, la sociedad del mundo occidental ha sufrido una transformación importante respecto a sus opiniones sobre la obtención de la energía y su utilización. Durante gran parte de la segunda mitad del siglo XX, la energía cotidiana se obtenía a partir de la energía atómica (fisión nuclear), así como de los combustibles fósiles. Las crisis energéticas y una nueva mentalidad del mundo que nos rodea son las principales causantes de este cambio. Quizá por ello, la utilización de otras formas de energía que no sean las convencionales, la energía nuclear y los combustibles fósiles ya mencionados, se lleva estudiando desde hace mucho tiempo, aunque para algunos estas formas de energía sean nuevas.

Las energías alternativas se encuentran ligadas al hombre desde su origen, ya que vivimos en un planeta y recibimos la energía de una estrella. Este texto intentará dar a conocer el pasado, presente y futuro de este tipo de energías, erróneamente denominadas «energías alternativas», ya que hoy en día la energía producida por este tipo de técnicas no llega a cubrir las necesidades energéticas a las cuales el mundo está acostumbrado. Hoy en día, estas energías no pueden sustituir a las energías convencionales por completo y, en consecuencia, no pueden ser alternativa presente, aunque sí futura, siempre que se desarrollen

planes de inversión energética y se incentive el estudio y desarrollo de este tipo de energías.

Nos encontramos en un momento en el cual debemos realizar una reflexión seria y profunda sobre cómo queremos que sea nuestro mundo; una vez que tengamos las ideas claras, tendremos que ser objetivos y realistas sobre si podemos conseguir ese mundo o no a partir del que tenemos, así como si debemos abandonar todo ese trabajo que se ha realizado a favor de un tipo de energía o queremos compaginarlo. Tenemos un ejemplo claro en el pueblo sueco, que votó en referendun el abandono de la energía nuclear para el año 2000. Se están realizando grandes inversiones para conseguirlo y a pesar de que para esa fecha quizá no hayan conseguido su objetivo, ese retraso de unos pocos años no impedirá la realización de su deseo de vivir en un país de energías limpias y no contaminantes. El resto de los países industrializados, ¿pueden y quieren plantearse una forma de vivir similar? Una vez planteada y definida esta forma de vivir, ¿quieren y pueden esforzarse en conseguirlo, con el sacrificio que ello conlleva? La gran mayoría de los países industrializados seguramente no pueden o no quieren plantearse éstas y otras muchas preguntas más, algo que el pueblo sueco ya ha hecho. Seguramente la respuesta a todas estas preguntas puede radicar en otra pregunta: ¿pueden compaginarse todas las maneras de obtener energía, tanto convencionales como alternativas? ¿Por qué desperdiciar todo el dinero y el esfuerzo que se han invertido hasta el momento? Se puede llevar a cabo una transición más paulatina y menos costosa, sin desaprovechar lo que ya tenemos. Llegará un día en el que no tengamos energías convencionales y alternativas, simplemente energía, y su obtención será lo más diversa posible, sin rivalidades entre un tipo u otro.

Hoy en día en muchos lugares de nuestro planeta tendríamos que preguntarnos ¿cuál es la energía convencional y cuál es la energía alternativa? Los habitantes de ciertos lugares sólo conocen, o sólo pueden utilizar, la energía del sol, del viento, del agua, o

volver a utilizar de otra manera lo que ya han utilizado; para ellos no existe la energía nuclear ni combustibles fósiles. No tienen ni el dinero ni la infraestructura para utilizar lo que nosotros llamamos «energías convencionales», por lo que las únicas energías convencionales para ellos son nuestras «energías alternativas».

Nos encontramos con el hecho de que en muchos lugares a las energías alternativas se les denomina energías renovables. El nombre de energías alternativas tiene un significado ideológico, el del proyecto de dejar de utilizar un tipo de energía y utilizar otras formas que nos parecen mejor para la salud o para el medioambiente. El nombre de «energías renovables» tiene un sentido físico; aunque nos parezca que la energía solar es siempre constante, no es así, depende de la cantidad de energía que genere el Sol y de la que nos llegue, que no es la misma todos los días. La energía eólica depende del viento, que tampoco es siempre el mismo, y lo mismo sucede con la energía del agua, así como con todas las formas de energía que se exponen en este libro. Aunque parezca constante, la energía no es la misma, sino que debido a su constante renovación, nos parece uniforme y en cantidades incalculables, a pesar de que sólo podamos utilizar un pequeño porcentaje de la misma.







# 1

## EL SOL, FUENTE DE ENERGÍA

El Sol es una estrella de tipo medio, estudiada por todos los científicos de todas las épocas, incluso por los de la nuestra, que no satisfechos con su observación a través de los mejores y más poderosos telescopios de la historia, han enviado una sonda espacial a estudiarla, la Galileo. Sin embargo, conocemos lo suficiente como para dar un modelo de su estructura y composición que explique la mayoría de los fenómenos relacionados con el Sol y cuerpos del Sistema Solar.

### **Estructura y Composición**

Imaginemos que el Sol está formado por capas esféricas concéntricas; como el Sol brilla de forma continuada emitiendo energía debido a la fusión termonuclear (formación de átomos de helio por la fusión de átomos de hidrógeno a altas temperaturas) que se produce en su centro, consideramos que se encuentra en equilibrio térmico. La energía que se origina en su centro se transporta por convección (los gases calientes se expanden hacia la superficie mientras los fríos caen hacia el centro de la estrella; este movimiento de gases transfiere una energía en forma de calor desde el centro a la superficie) y difusión radiactiva (los fotones creados en las reacciones termonucleares se difunden hacia la

superficie). Las capas deben poder existir; para esto, la presión de los gases de cada capa es capaz de soportar el peso de la capa que está por encima, en todas las direcciones por igual; es decir, el Sol se encuentra en equilibrio hidrostático.

Describiremos la estructura del Sol de una forma sencilla y escueta, centrándonos sólo en aquellos detalles esenciales y obteniendo así una idea general de nuestra estrella.

La **Estructura Interna** es el lugar donde se producen todos los fenómenos energéticos; su radio es aproximadamente de unos dos mil kilómetros en el modelo de capas y su temperatura varía desde los quince millones de grados Kelvin en la región más interna, al millón en la más externa (recordemos que el cero Celsius corresponde a menos doscientos setenta y tres grados Kelvin, por lo tanto, a estas temperaturas nos da igual utilizar una escala de medida u otra, ya que nos encontramos con temperaturas muy altas). La podemos dividir en tres zonas:

**El Núcleo**, cuya extensión es aproximadamente la cuarta parte de la estructura interna del Sol; es el lugar donde se produce la fusión termonuclear.

**Zona Radiactiva**, la zona en la cual la energía producida en el núcleo se transporta por difusión radiactiva; empieza cuando termina el núcleo y se extiende hasta una distancia del 80% de la estructura interna del Sol.

**Zona Convectiva**, la zona en la cual la energía se transporta por convección; se extendería desde donde termina la zona de radiación hasta el final de la estructura interna del Sol.

La **Fotosfera** es la siguiente capa del Sol; delgada, de unos 100 km, delimita la parte interna del Sol con la externa. Podemos considerarla como la superficie del Sol, ya que es la primera capa que podemos observar y que aparece ante nosotros como una esfera de luz; de ahí su nombre. La fotosfera brilla con el espectro de un cuerpo negro continuo, con una temperatura media de 5.800 Kelvin (el cuerpo negro es un sistema ideal que absorbe toda la radiación

que incide sobre él; si el sistema está en equilibrio térmico, toda la radiación que llega al sistema debe ser emitida de nuevo en forma de radiación), por lo tanto, la fotosfera es una capa de tránsito de energía a una temperatura media de 5.800 K.

La **Cromosfera**, o esfera de color como su nombre indica, es la siguiente capa del Sol. Es una región fría, visible durante un eclipse total de Sol; en el momento que la luna bloquea la fotosfera, aparece como una banda rosácea alrededor del borde de la luna oscura. Aparece un movimiento de gases en esta capa, debido a los numerosos y oscuros «espículos» que sobresalen hacia el exterior. Los espículos son chorros de gas que surgen del interior, elevándose a una velocidad de 20 km/s y alcanzando unos 7.000 km. Posteriormente, colapsan y desaparecen en varios minutos.

La **Corona** es la región más exterior del Sol: se extiende desde los límites de la cromosfera hacia fuera y está formada esencialmente por protones y electrones que se mueven a gran velocidad; cuando esta distribución de partículas se comporta homogéneamente, se le denomina viento solar. Esto ocurre a unos millones de kilómetros del núcleo solar y a esta distancia es la que consideramos como límite del Sol. A partir de esta distancia, y hasta que el viento solar deja de actuar debido a que los protones y electrones que lo componen dejan de moverse por la actuación de otras partículas y otros fenómenos, es lo que denominamos el Sistema Solar.

Nosotros no entraremos a explicar otras características del Sol, como manchas solares, llamaradas, etc. porque nuestro objetivo es dar una visión general de cómo puede afectar el Sol a la Tierra y a los cuerpos del Sistema Solar energéticamente, dejando un poco al margen el fascinante mundo de nuestra estrella.

## **Espectro Energético**

Una vez conocida nuestra estrella, y hasta que no tengamos otros datos, resumimos que el Sol afecta a todo cuerpo del Sistema Solar, de dos formas energéticas diferentes:

Como **Viento Solar**, que son electrones y protones en movimiento a altas velocidades en un principio y que con el tiempo se van frenando. El movimiento de cargas es el origen de un campo magnético y por la sola presencia de partículas cargadas tenemos el origen de un campo eléctrico. Por lo tanto, tenemos que el Sol es el origen, el lugar donde se crea un campo electromagnético, esto es, la fuente electromagnética.

Como **Foco Térmico**, lugar donde se produce energía que se transmite en forma de calor. En el Sol se producen fusiones termonucleares cuya energía se transporta al exterior de modo convectivo, forma de transporte de la energía calorífica.

A nivel energético, el Sol es una fuente de energía que emite en todas las longitudes de onda o frecuencias, es decir, la energía emitida por el Sol se puede descomponer en todos sus valores desde cero hasta el infinito, considerando infinito como valores muy elevados de energía.



## 2

### LA TIERRA: SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

El Sistema Solar es un conjunto de cuerpos celestes que se encuentra atraído y bajo la influencia de una estrella, un Sol. Nuestro Sistema Solar está formado por el Sol, nueve Planetas y una multitud de cuerpos menores como lunas, cometas, asteroides, etc. Un Planeta es un cuerpo celeste que no posee luz propia, está apagado y sólo refleja la luz que le envía su estrella. Los nueve planetas de nuestro Sistema Solar, en función de su mínima distancia al Sol, son :

Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón.

Los planetas tienen dos movimientos, uno alrededor del Sol, denominado **traslación**, y otro alrededor de su propio eje, denominado **rotación**. Siempre se han identificado estos dos movimientos independientes entre sí; sin embargo el estudio de los Planetas nos ha revelado que esto no es así, ya que existe una relación entre el **período de spin**, o tiempo que tarda un planeta en completar su movimiento de rotación, y el **período orbital**, o tiempo que el planeta tarda en completar su movimiento alrededor del Sol. A esta relación se la denomina «acoplamiento spin-órbita». Este acoplamiento no sólo existe entre los planetas y el Sol, sino que existe entre cualesquiera dos cuerpos que tengan un movi-

miento de traslación uno respecto al otro. El más característico es el acoplamiento spin-órbita 1 a 1 de nuestra Luna, mostrándonos de esta forma siempre la misma cara.

### **Características Geológicas: Estructura y Composición**

La Tierra es un hermoso planeta de color azulado que posee los tres estados de la materia, sólido, líquido y gaseoso, que en la antigüedad denominaron tierra, agua y aire. El estudio del Planeta Tierra lo realizan los geofísicos y geólogos, que estudian la tierra como la parte sólida del planeta, la hidrosfera como la parte líquida, y la atmósfera como el estado gaseoso de este planeta tan privilegiado en el cual se ha desarrollado la única forma de vida conocida hasta el momento.

La forma de nuestro planeta es una esfera y al considerar la uniformidad que la atmósfera le da a la superficie del planeta, observamos que es una esfera achatada por los polos, denominada «geode». Esta delimitación de forma nos permite la localización de los tres estados de la materia en nuestro planeta. El estado sólido y líquido están delimitados por la superficie de la tierra, mientras que el estado gaseoso se encuentra rodeando a esta superficie. No descartamos en ningún momento el fenómeno meteorológico de la lluvia y la evaporación al realizar esta delimitación; si consideramos la superficie como el límite de estados, esta frontera no es cerrada, sino abierta, por lo que las condiciones de frontera que afectan a este entorno dan origen a estos fenómenos. Como el porcentaje de estado líquido en la atmósfera es muy pequeño, así como lo es el estado gaseoso en la tierra, consideramos la superficie terrestre como límite entre estados: de esta manera, podemos estructurar por separado la tierra y la atmósfera. Así conocemos con mayor detalle dónde vivimos.

La estructura de la Tierra, al igual que la del Sol, viene explicada por una estructura de capas denominada Estructura Zonal de la Tierra, enunciada en 1963 por K.E.Bullen. Al contrario que

en el Sol, empezamos a medir a partir de la superficie, y no desde su centro.

La **corteza terrestre** se divide en:

**Corteza Continental:** es la parte sólida de la superficie terrestre. Tiene una profundidad de unos 30 ó 40 kilómetros y está formada por rocas graníticas ricas en sílice y aluminio.

**Corteza Oceánica:** es la parte de la corteza correspondiente a los mares y océanos. Tiene una profundidad de unos 6 kilómetros y está formada en su mayor parte de agua, hasta una profundidad de 4,5 kilómetros, en la cual existen disueltas diversas sustancias. El kilómetro y medio restante corresponde a la sedimentación de material que llega a mares y océanos.

La corteza se encuentra separada de la siguiente capa, denominada Manto, por la **discontinuidad de Mohorovicic o Moho**. El espesor de esta discontinuidad oscila en torno a unos pocos kilómetros, siendo incluso menor en algunos puntos.

El **Manto** es la capa que se encuentra entre la discontinuidad de Mohorovicic, es decir a unos 30 ó 40 kilómetros, si nos encontramos en una zona que existe corteza continental, ó 6 kilómetros, si nos encontramos en una zona que hay corteza oceánica, hasta los 2.900 kilómetros donde se encuentra la **discontinuidad de Gutenberg**, que separa al manto y la última capa de la tierra denominada Núcleo. El Manto se divide en :

**Manto Superior:** ocupa la zona que va desde la discontinuidad de Mohorovicic hasta unos 400 kilómetros y está formada por materiales basálticos, principalmente sílice y magnesio.

**Zona de Transición:** se encuentra entre los 400 y 1.000 kilómetros de profundidad y está formada por los materiales de las zonas que la rodean.

**Manto Inferior:** se extiende desde los 1.000 kilómetros hasta los 2.900. Está formada por rocas eruptivas, principalmente materiales pesados y pobres en sílice.



El **Núcleo** está formado por hierro y níquel y es la zona que se encuentra a una distancia entre 2.900 kilómetros y 6.370 centro de la Tierra. Se divide en:

**Núcleo Externo:** en esta zona los materiales se encuentran en estado de plasma y va desde los 2.900 hasta los 4.980 kilómetros de profundidad.

**Núcleo Interno:** es sólido y es la zona que va desde los 5.120 kilómetros hasta los 6.370.

**Zona de transición:** va desde los 4.980 kilómetros hasta los 5.120.

La **hidrosfera** es la parte líquida de la Tierra. Está formada en su totalidad por agua. El agua cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre. Las características físico-químicas del agua son las causantes de que la Tierra posea unas características privilegiadas para la existencia de vida, ya que el agua complementa la acción de termostato que realiza la atmósfera, regulando el estado térmico de nuestro planeta. Dependiendo del lugar donde se encuentre el agua podemos realizar la siguiente clasificación:

**Los Océanos:** contienen el 97,2% del agua de la hidrosfera. La salinidad, temperatura y latitud son factores decisivos en las corrientes y la fauna marina, e incluso determinantes en el clima. Los principales compuestos que se encuentran en las aguas marinas son sales; de mayor a menor cantidad, tenemos el cloruro sódico o sal común, utilizada por todos en la cocina; cloruro de magnesio, sulfato de magnesio, calcio y potasio. En realidad, la gran mayoría de los metales se encuentran en numerosas sales presentes. La mayor característica de estas aguas es su movimiento; las olas, corrientes marinas, corrientes de densidad, tsunamis o maremotos y movimientos mareales.

**Los Glaciares:** contienen el 2,2% del agua de la hidrosfera. La zona glaciaria no sólo abarca la cercanía de los polos, sino también las cadenas montañosas de otras latitudes. Los hielos actuales cubren aproximadamente la décima parte de la superficie terrestre,

unos 15 millones de kilómetros cuadrados. Podemos clasificar los glaciares según:

**1.- La Temperatura**, dividiéndolos en:

- Glaciares Fríos, aquellos cuya temperatura es inferior siempre a la temperatura de fusión de hielo.

- Glaciares Templados, aquellos cuya temperatura se encuentra siempre cercana a la temperatura de fusión del hielo.

**2.- La Localización**, en:

- Glaciares Continentales o de Casquete, que son glaciares fríos. Sólo existen dos, uno sobre la Antártida y otro sobre Groenlandia; en ambos, el centro del continente se encuentra por debajo del nivel del mar, debido a la presión que ejerce el hielo. El resto de los glaciares pueden considerarse como residuos de glaciares continentales, como los glaciares de Alaska y Siberia.

- Glaciares de Montaña, que son glaciares templados como los del Himalaya, Los Andes y Los Alpes.

- Las **Aguas Subterráneas** contienen el 0,6% de las aguas de la hidrosfera. Las aguas subterráneas, como su nombre indica, son aquellas que circulan por el interior de la corteza terrestre; cuando el agua se precipita al suelo por medio de la lluvia, parte del agua traspasa la superficie llegando al subsuelo, mientras que otra parte se evapora volviéndose a condensar en forma de nubes. Este ciclo se denomina ciclo del agua. Si en vez de considerar sólo el agua procedente de la lluvia consideramos la formación de las nubes a partir de todo el agua que le llega (agua magmática, agua cósmica, agua de océanos, etc.), este agua que se encuentra en las nubes precipita a la superficie terrestre, acumulándose antes de atravesar la superficie terrestre o bien después mediante el movimiento de las aguas subterráneas, en mares, lagos, ríos, pantanos... De nuevo vuelve a evaporarse el agua hacia las nubes, volviendo a empezar así el ciclo hidrológico.

Las aguas subterráneas son importantes, ya que distribuyen el agua por los lugares por los que pasa en su camino hacia el

mar. Estos caminos provocan una gran erosión en los terrenos; los materiales erosionados son arrastrados por las aguas subterráneas, provocando que las aguas pierdan toda la energía potencial y no puedan seguir fluyendo por la acción de la gravedad, formando así lagos subterráneos que dan origen a acuíferos.

-Los **Lagos** contienen el 0,02% del agua de la hidrosfera. Su origen es de lo más simple; la erosión producida por las aguas de la superficie terrestre en su camino hacia el mar provoca un ensanchamiento de las orillas y una excavación del suelo en determinados sitios. En estos lugares el agua se va acumulando, dando origen así a lo lagos.

-Las **Corrientes Fluviales** contienen el 0,0001% del agua de la hidrosfera. Es el agua que no se ha evaporado ni congelado y que forma senderos o caminos hacia los mares y océanos debido a la diferencia de alturas entre el lugar donde caen y los mares. La energía potencial de las aguas en las zonas elevadas se transforma en energía cinética que transporta ésta hasta los mares.

La **atmósfera** es la parte gaseosa de la Tierra. Está compuesta por 78% de nitrógeno, el 21% de oxígeno y el 1% restante se encuentra repartido en hidrógeno, argón, etc. La atmósfera se divide en varias capas, atendiendo a la composición, variación de temperatura y presión. La variación de la temperatura provoca desplazamientos convectivos de masas de aire; la circulación de estas masas de aire es lo que denominamos viento. Al mismo tiempo, la atmósfera regula nuestra temperatura ambiente filtrando los rayos solares, almacenando el calor solar que deja pasar y no dejando escapar la radiación térmica de la Tierra. Por esta razón, una noche estrellada implica una madrugada fría, ya que las nubes no dejan escapar el calor de la tierra.

Las capas de la atmósfera son:

-La **troposfera**: su límite se encuentra a 12 kilómetros de la superficie y en ella se encuentra todo el oxígeno y el 75% del vapor de agua. Es el lugar de la atmósfera donde se producen los fenómenos atmosféricos.

-La **estratosfera**: limita inferiormente con la troposfera y superiormente con la ionosfera, a unos 80 kilómetros. Su característica esencial es que no deja pasar la radiación ultravioleta del Sol.

-La **ionosfera**: es una capa compuesta de gases enrarecidos que va desde los 80 kilómetros hasta los 800.

El clima de una región resulta del conjunto de todas las condiciones atmosféricas que se presentan a lo largo del año.

Podemos definir las siguientes zonas climáticas dependiendo de la latitud:

**1.- Zona Polar**, entre los 60° y 90° de latitud. En ésta, las precipitaciones son escasas y generalmente en forma sólida, con vegetación pobre.

**2.- Zona Templada**, entre latitudes intermedias. Se da en esta zona una gran inestabilidad atmosférica, con abundantes precipitaciones en forma líquida, preferentemente.

**3.- Zonas Tropicales**, entre los 20° y 40°. En esta zona se dan altas presiones y escasa pluviosidad, repartiéndose el agua en su totalidad en la evaporación y la infiltración.

**4.- Zona Ecuatorial**, de unos 40° y centrada en el ecuador. Tiene una pluviosidad media y una temperatura media de 25°C.

### **Aprovechamiento Energético de la Tierra**

Una vez conocido el medio que nos rodea y en el que nos movemos (al cual denominamos medio ambiente), cualquiera podrá darse cuenta de que nuestro planeta posee numerosas fuentes de energías, a partir de las cuales podemos abastecernos sin deteriorar el medio que nos rodea.

Desde su corazón, la diosa Gea nos envía su propia energía en forma de calor, un calor materno aprovechable directamente para calefacciones, agua caliente o, por medio de su transformación, en energía eléctrica. Lógicamente no en todos los lugares de la tierra se puede aprovechar este tipo de energía pero en aque-

llos donde la Madre Tierra nos dé su calor, aprovechémoslo. Sin embargo, existe otro tipo de energía en la superficie de la Tierra; solamente tenemos que ser capaces de transformar, para nuestro aprovechamiento, la energía de la vida, o bioenergía; ya que este planeta, hasta el momento, es el único lugar del Universo donde existe vida, obtengamos energía de este privilegio.

Tres cuartas partes de la Tierra son de agua. Este tipo de energía es uno de lo más aprovechados; siempre se ha aprovechado el agua de las corrientes fluviales, que sólo corresponde al 0,0001% del agua de la hidrosfera, pero la energía del agua de los mares, que corresponde al 97,2% del agua existente, no es aprovechada, aunque conozcamos su dinámica y su termodinámica. El dios Neptuno, de buen seguro, no se enfadará con nosotros si utilizamos un poco de sus aguas si, de esta manera, prolongamos los días de su reinado.

Eolo, poderoso dios del viento que se mueve por todo nuestro planeta, nos hace ver que podemos aprovechar su energía, como lo hicieron nuestros antepasados, los cuales construyeron los gigantes de don Quijote.

La naturaleza es sabia. Sólo tenemos que fijarnos un poco y darnos cuenta de unos seres vivos como las plantas; fijas a la tierra, obtienen su alimento de ella, mientras que aprovechan el agua que les llega, así como la luz procedente del Sol. Seamos nosotros más inteligentes que la naturaleza y aprovechemos todo lo que esté a nuestro alcance; el Sol, la tierra, el agua, el viento, la vida, en conclusión, el medio que nos rodea. Sólo tenemos que recordar el principio de conservación de la energía : **la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma**. Seamos capaces de desarrollar, en el más amplio campo, este principio. Todo está ahí, sólo tenemos que saber cogerlo.

# 3

## BIOMASA Y BIOENERGÍA

La **bioenergía**, como su nombre indica, es la obtención de energía procedente de la vida. Normalmente se equipara este concepto con el de **biomasa**. El concepto de biomasa fue adoptado de la biología, ya que por definición, la biomasa es el conjunto total de los organismos vivos, animales y vegetales de una determinada región, considerados colectivamente; por lo tanto, energéticamente hablando, el concepto de biomasa es el aprovechamiento del colectivo de organismos vivos, caracterizado por poseer como base compuestos orgánicos reducidos con los que se consigue un aporte energético orgánico y no fósil. Es decir, la biomasa es la energía que podemos obtener a partir de la materia viva o masa.

Sin embargo, el concepto de bioenergía es más amplio, ya que considera el aprovechamiento energético de la vida, no sólo de la materia. La biomasa no considera el aporte energético que durante siglos hemos obtenido de los animales de tiro; aunque este tipo de energía actualmente no es muy utilizada en el mundo desarrollado, en países subdesarrollados, como la India, sigue siendo un medio de transporte muy utilizado. Del mismo modo podríamos considerar el aporte energético realizado por el hombre como animal de tiro. Esto puede parecer muy singular, pero hoy

*Cámara de combustión rotativa, ERATIC. Combustibles: residuos hospitalarios, residuos sólidos, carroña, etc. (Cortesía ERATIC, S.A.)*



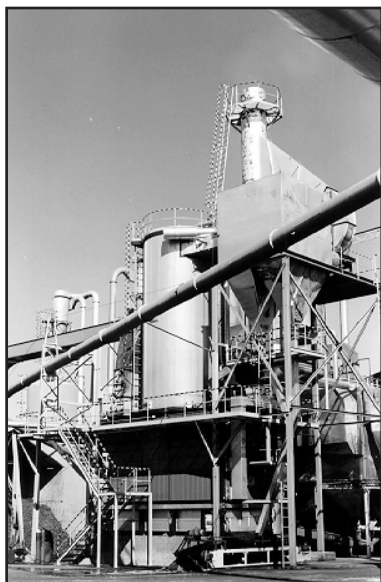
en día este medio de transporte sigue siendo utilizado en algunos países orientales.

Generalmente, el estudio que se realiza de la bioenergía es a partir de la biomasa, ya que el aprovechamiento energético de la bioenergía, sin contar la biomasa, es mínimo y está prácticamente relegado a países del Tercer Mundo.

### **Clasificación de la Biomasa**

La clasificación de la biomasa es simple, si seguimos el ciclo de la vida. La luz solar que llega a la Tierra es aprovechada por las plantas en el proceso de fotosíntesis; de éstas se alimentan los animales herbívoros, que a su vez son capturados y devorados por los animales carnívoros que cuando mueren se convierten en polvo, en sales que de nuevo las plantas aprovechan en su alimentación. Por lo tanto, podemos clasificar la biomasa en:

**1.- Biomasa Primaria, o de Calidad;** consiste en aprovechar los procesos espontáneos de **transformación** que poseen algunos seres vivos, en adaptar la energía solar que nos llega en energía química, utilizándola directamente en el aprovechamiento energético de la madera de bosques y selvas, en la agricultura y en cultivos industriales de microorganismos de forma artificial.



*Caldera de aceite térmico ERATIC. Evita la formación de escorias. Combustible: residuos sólidos industriales y urbanos. (Cortesía ERATIC S.A.)*

Este tipo de energía la utilizamos en las necesidades primarias del hombre, como es alimentarse, y en necesidades secundarias, como industrias, papel, fármacos, etc.

**2.- Biomasa Secundaria, o de Residuos Naturales;** que consiste en el aprovechamiento de los residuos propios de los seres vivos convirtiéndolos en energía como gas. Su origen se encuentra en la **recuperación** de los excrementos de los animales en biogas, carbón vegetal, etc.

**3.- Biomasa Terciaria, o de Energía Renovable;** o la recuperación energética de los residuos del hombre. La recuperación de la energía que «tira» el hombre se realiza por medio de dos caminos: uno, el **reciclaje** de aquellos materiales que se pueden volver a utilizar; otro, la **incineración** de los materiales que no pueden volverse a utilizar. El problema actual con estos medios de recuperación energética es el tratamiento de los gases



*Briquetas para el aprovechamiento biomásico. (Cortesía CIEMAT)*



desprendidos en estos procesos, gases que suelen ser perjudiciales para el medio ambiente.

## **Procesos de Conversión Energética de la Biomasa**

Una vez encontrada la fuente de energía, tenemos que ser capaces de transformar esta energía en energía aprovechable. Estas transformaciones las clasificaremos según el proceso de conversión:

**1.- Procesos Termoquímicos.** Son aquellos procesos que se producen debido a la interacción del calor en las reacciones químicas, que se producen en los procesos de conversión energética. Podemos clasificar estos procesos según se produzca la interacción del calor en las reacciones:

**1.1.- Combustión Directa de la Biomasa.** Es la oxidación exotérmica de la materia (quemar la materia) aprovechando el alto poder calorífico de la misma. Podemos utilizar este tipo de energía en todos aquellos lugares donde se necesite calor: hogares, granjas, industrias, etc. También podemos transformar este tipo de energía en electricidad siguiendo el modelo de las centrales térmicas; en lugar de utilizar combustibles fósiles podemos utilizar combustibles biológicos.

**1.2.- Pirolisis.** Es la descomposición físico-química de la materia mediante calentamiento en ausencia de oxígeno. Mediante este método podemos obtener carbón vegetal, un destilado líquido rico en productos químicos, así como aceites y algunos compuestos gaseosos que contienen hidrocarburos hidrógeno, dióxido y monóxido de carbono, y nitrógeno.

**1.3.- Gasificación.** Es el aprovechamiento del proceso de sublimación de la materia (pasar del estado sólido a gas). Esto se consigue cuando la materia se encuentra en determinadas condiciones de presión y temperatura. De esta forma, obtenemos biogas utilizable de la misma manera que utilizamos actualmente el gas procedente de combustibles fósiles.

**2.- Procesos Bioquímicos.** Son aquellos procesos en los cuales la propia vida es capaz de producir procesos y cambios químicos. Podemos clasificar estos procesos atendiendo al compuesto que se encuentra presente:

**2.1.- Fotoproducción de Combustibles,** proceso por el cual ciertos microorganismos, mediante la acción de la energía procedente del Sol y partiendo de compuestos orgánicos e inorgánicos, son capaces de obtener combustibles y oxígeno. Se obtienen principalmente dos tipos de combustibles según los microorganismos que intervengan en la fotoproducción:

*a.- Fotoproducción de Hidrógeno.* Se obtiene principalmente a partir de la biofotosíntesis de la molécula de agua, aunque existe otro proceso que no se encuentra ligado al agua y que se basa en ciertas bacterias fotosintéticas capaces de obtener hidrógeno a partir de compuestos orgánicos. Estos procesos no sólo se producen mediante organismos vivos, sino que también se producen en organismos carentes de vida, como por ejemplo membranas. Este tipo de membranas han sido reproducidas artificialmente mediante sistemas de fotoquímica, obteniéndose los mismos resultados. Una vez conseguido el hidrógeno, éste se puede utilizar como combustible ya que se trata del combustible ideal,

porque en su combustión se obtiene el mayor aporte energético conocido hasta el momento, o como materia prima para producir electricidad, alcoholes, gas, etc.

*b.- Fotoproducción de Amoníaco.* Ciertos microorganismos en presencia de nitrógeno, nitratos y un aporte energético procedente de la luz solar, son capaces de obtener amoníaco. Sin embargo, podemos obtener amoníaco por un simple proceso fotoquímico a partir de nitrógeno, vapor de agua y compuestos químicos que reaccionan bajo la acción de la luz, obteniéndose así amoníaco e hidracina.

*c.- Fotoproducción de Agua Oxigenada.* Ciertos organismos realizan una fotosíntesis oxigénica; a partir del agua, ciertos microorganismos son capaces de obtener agua oxigenada.

**2.2.- Fermentación Alcohólica**, que es un proceso que se realiza en presencia de oxígeno aunque éste se encuentre en pequeñas cantidades. Las levaduras, que son microorganismos, transforman los hidratos de carbono en etanol, recuperado por destilación. El etanol puede ser utilizado para la obtención de calor, energía mecánica y, en consecuencia, energía eléctrica.

**2.3.- Digestión Anaerobia**, proceso por el cual ciertas bacterias, en ausencia de oxígeno, son capaces de transformar

*"Los hombres y mujeres de hoy deben inculcar en los del mañana, la importancia del reciclaje y de las energías alternativas". (Cortesía Ana Carrasco)*



la materia prima en biogas, principalmente metano y anhídrico carbónico. Éste suele ser utilizado en motores de combustión, que podrían obtener energía mecánica y, en consecuencia energía eléctrica, así como calor al utilizar el biogas como combustible.

### **Tecnología de la Biomasa**

Existe la tecnología suficiente y necesaria para poner en marcha las centrales bioenergéticas. Sólo es necesario ponerse manos a la obra. Existen fábricas de reciclaje de papel, plásticos, vidrios, aceites, aceros, hierros, etc. Todo puede ser reciclado; para esto, lo primero de lo que tenemos que disponer es de una red de recogida de los restos inservibles de estos elementos. Una vez recogidos, serán llevados a las centrales de reciclaje de donde volverán a salir nuevos y listos para su reutilización. Incluso los desechos animales se pueden convertir en energía. Así, el estiércol producido por 40.000 cabezas de ganado vacuno en el estado de Colorado, EE.UU., es transformado en metano equivalente a la mitad del combustible necesario para mantener una central eléctrica de 50 MW.





## 4

### EL AGUA Y SU ENERGÍA

Tres cuartas partes de nuestro planeta son agua. Éste es un compuesto simple pero fundamental en el desarrollo de nuestro planeta, sin el cual la Tierra no habría evolucionado como lo ha hecho, no sería como es y seguramente no existiría la vida en su concepto más amplio.

El hombre, según sus necesidades, intentó aprovechar la energía del agua que llevaban sus ríos mediante simples norias, que en un principio servían para recoger el agua que necesitaba para vivir. Los grandes saltos que algunos ríos tienen en su recorrido fueron aprovechados posteriormente para obtener electricidad; de esta manera, se empezaron a construir pantanos con el mismo propósito.

La energía cinética que el agua lleva en su camino hacia la mar se transforma en energía potencial cuando encuentra un brusco desnivel en su recorrido. Al conjunto de energía cinética y potencial del agua de ríos, lagos y pantanos se le denomina **Energía Hidráulica**. Sin embargo, esta energía no le sirve de nada al hombre, excepto cuando éste es capaz de transformarla en energía aprovechable eléctricamente, a la cual denominamos **Energía Hidroeléctrica**.

Si la clasificación de la energía la realizamos en función de dónde se encuentra el agua podremos denominar a la energía

*Antiguo molino  
movido por tracción  
animal. (Cortesía Ana  
Carrasco)*

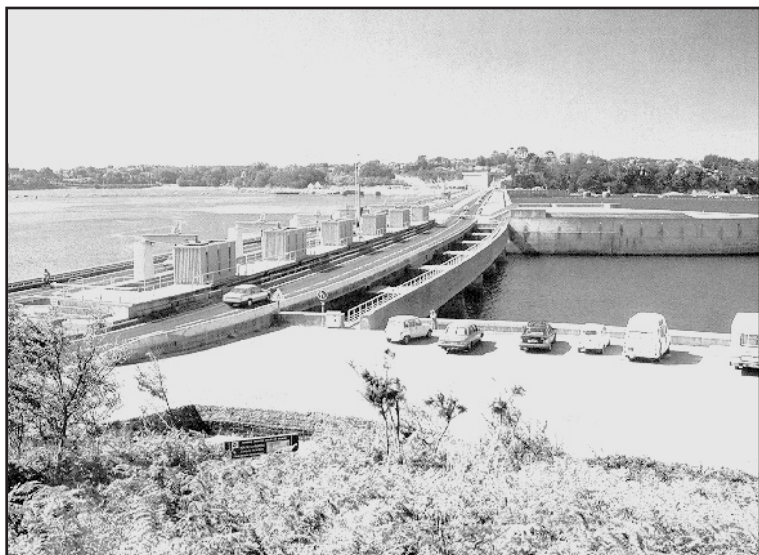


hidráulica como **Energía Hidrográfica**, ya que este agua en movimiento se encuentra en la Tierra, a diferencia del agua de mares y océanos, de la cual obtendremos la **Energía Hidrooceánica**.

Al igual que el agua de los ríos, el agua de los mares se desplaza, pero de distinta forma, por lo que tenemos que adaptarnos a este movimiento tan peculiar denominado «mareas». De ahí el nombre de la energía que podemos conseguir del movimiento de las aguas de mares y océanos, **Energía Maremotriz**. El movimiento de estas aguas no se realiza siempre en las mismas condiciones; hay lugares donde los rayos del Sol inciden más directamente, o la energía calorífica procedente del corazón de nuestro planeta les afecta más directamente, provocando unas corrientes de aguas frías o calientes en nuestro planeta. El aprovechamiento energético del calor de estas aguas lo denominamos **Energía Termomarina**.

### **Energía Hidroeléctrica**

Muchos ríos tenemos que atravesar en la vida, unos con corrientes suaves y otros, sin embargo, con una gran fuerza en sus aguas que, en algunos casos, nos derrotan. Es en estos casos cuando pensamos en cómo podemos aprovechar tanta fuerza, tan-



*Central maremotriz de La Rance, en St. Malo-Francia.  
(Cortesía Poupinet-Explorer/Embajada de Francia)*

ta vitalidad. Ahora nos parece todo evidente, sin embargo en su origen sólo ciertas personas se dieron cuenta de lo que ocurría. En 1820, el investigador **Oersted** observó que cuando una corriente eléctrica circula por un hilo metálico colocado en la proximidad de una brújula, la aguja de ésta se mueve; a partir de este experimento pudo llegar a la conclusión de que toda corriente eléctrica produce un campo magnético. Años más tarde, **Faraday** demostró que también era posible el fenómeno opuesto.

Faraday comprobó que al mover un imán cerca de un hilo metálico que no estuviera conectado a una pila, por el hilo circulaba corriente, al igual que si se movía el hilo conductor y se mantenía fijo el imán. A este tipo de corriente, se le denomina corriente inducida y el fundamento teórico del aprovechamiento de la energía en movimiento de cualquier elemento en energía eléctrica. Para



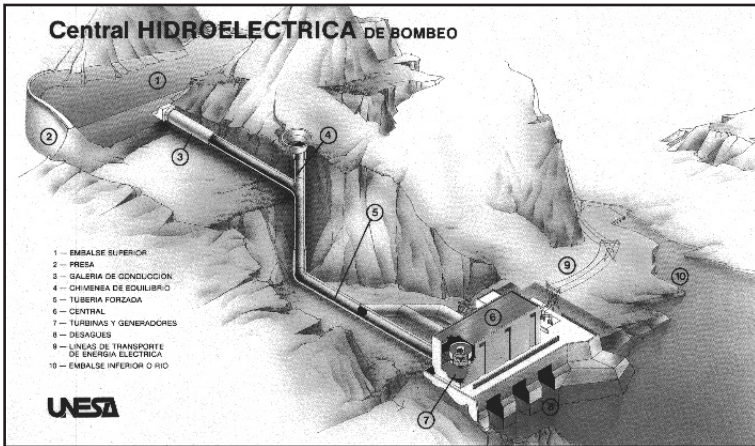
poder entender cómo se obtiene la energía eléctrica, sigamos el recorrido del agua.

Hacemos caer una corriente continua de agua a través de un tubo; como la corriente es continua, no para de caer y dicha corriente se precipita sobre unas aspas, llamadas *turbinas*, que por el peso del agua en la caída se mueven siempre a la misma velocidad, ya que el agua que cae siempre es la misma. A la turbina se encuentra unido un cilindro electroimánado que se mueve al mismo tiempo que la turbina: a esta parte que se mueve se le denomina *rotor*. Alrededor del cilindro imanado existen unos contactos metálicos y como el imán se encuentra en movimiento, le trasfiere una corriente eléctrica a estos contactos, de los cuales salen conexiones eléctricas para poder sumar toda la corriente de cada colector eléctrico. A esta parte se le denomina *estátor*, ya que se encuentra fija o estática. Al conjunto rotor y estátor se le denomina *alternador*. Por lo tanto, una **central hidroeléctrica** consta fundamentalmente de un lugar donde se recoge el agua, **embalse**, y una **planta transformadora de energía** que consta de una turbina y un alternador principalmente. El agua, además de ser elemento del cual somos capaces de obtener energía, nos sirve también para refrigerar el sistema, ya que éste se calienta por rozamiento de las piezas que lo constituyen.

Una vez transformada la energía del agua en energía eléctrica, sólo queda distribuirla mediante los tendidos eléctricos de alta tensión. Se utilizan tendidos de alta tensión para impedir que las pérdidas de la energía eléctrica sean grandes.

### *Centrales Hidroeléctricas*

Las centrales hidroeléctricas tienen como finalidad aprovechar, mediante un desnivel, la energía potencial existente en el caudal de las aguas que transportan los ríos para convertirla en energía eléctrica por medio de la utilización de turbinas acopladas a alternadores. El hombre, en su intento de aprovechar al máximo



(Cortesía UNESA)

las condiciones con las que se ha encontrado en cada momento, ha realizado diferentes tipos de centrales hidroeléctricas. Las podemos clasificar *en función de las características orográficas* en:

**1.- Centrales Fluyentes;** son aquellas que aprovechan los ríos que aseguran una aportación regular de caudal de agua. La energía de estas centrales puede ser aprovechada directamente sin necesidad de embalsar previamente el agua, o bien utilizando un embalse muy reducido.

**2.- Centrales con Regulación;** son aquellas que necesitan retener un caudal apreciable mediante una presa, formando así embalses y pantanos artificiales en los se puede generar un salto de agua.

Si clasificamos las centrales *en función de su estructura*, tenemos:

**1.- Central de Aprovechamiento por Derivación de las Aguas;**

consiste en desviar el caudal del río mediante una pequeña presa hacia un canal que conduce este caudal hasta un pequeño depósito

llamada «cámara de carga». EL canal está diseñado de tal forma que el desnivel que se pierda en el camino sea mínimo. De la cámara de carga el agua es conducida por una tubería hasta la sala de máquinas, donde se realiza la transferencia mediante el conjunto turbina-alternador de la central. Posteriormente se devuelve el agua al río mediante un canal de descarga.

**2.- Central de Aprovechamiento por Acumulación de las Aguas o Central de Pie de Presa;** consiste en construir en un determinado tramo del río que ofrezca un desnivel una presa de determinada altura. El nivel del agua se situará cercano al extremo superior de la presa. A media altura de la presa se encuentra la toma de agua. Debajo de la central, después de que el caudal de agua haya pasado por el par turbina-generador, el agua vuelve al curso del río.

**3.- Central de Bombeo;** este tipo de centrales posee dos embalses. El agua llega al embalse inferior y mediante un bombeo del agua ésta llega al embalse superior, donde se recoge una cantidad de agua inferior a la que llega al embalse de abajo. Debido al salto de agua, en este segundo embalse se obtiene la electricidad.

Si la clasificación la realizamos *en función de la potencia generada* tenemos:

**1.- Minicentrales Hidráulicas;** son aquéllas cuya potencia oscila entre 250 Kw y 5.000 Kw.

**2.- Macrocentrales** o, simplemente, centrales hidráulicas, que son aquéllas que generan una potencia superior a 5.000Kw.

## **Elementos Necesarios en el Aprovechamiento Hidroeléctrico**

Además de la sala de máquinas donde se encuentra el par turbina-generador, son necesarios algunos elementos básicos para la obtención y aprovechamiento de la energía. Estos elementos son:

**1.- Presa.** Dependen de las características orográficas y su finalidad es la retención de las aguas. Hay dos tipos de presas:

*1.- Presas de Gravedad;* son aquellas que la contención del agua se realiza por el propio peso del muro de la presa.

2.- *Presas de Bóveda*; son aquellas que la contención de las aguas y la estabilidad del muro se consiguen mediante el empuje que se realiza hacia los extremos del arco que forma la presa.

**2.- Aliviaderos.** Su misión es liberar, como su nombre indica, parte del agua retenida para evitar cualquier desastre por la crecida del embalse; se encuentran en la pared principal de la presa.

**3.- Tomas de Aguas.** En la pared anterior de la presa, la que da al embalse, se instalan tuberías que conducen el agua hacia las turbinas.

**4.- Salida de Agua.** Son tuberías que conducen el agua de las tuberías al río.

## **Energía Termomarina**

La **Energía Termomarina** es la energía en la que podemos aprovechar la energía calorífica que poseen las aguas marinas y oceánicas. Los océanos y mares que bañan las regiones tropicales absorben una radiación solar equivalente al contenido térmico de cerca de 250.000 millones de barriles de petróleo. Según este cálculo, se desarrolló el proyecto **OTEC (Ocean Thermic Energy Conversion)**, que fue el proyecto para la recuperación de energía calorífica de los océanos en energía eléctrica.

A principios del siglo XX, el ingeniero francés **Jacques Arsene d'Arsoval** pensó en la posibilidad de utilizar la energía térmica de las aguas. Para ello ideó un sistema de ciclo cerrado que nunca se llegó a construir. En 1930 su discípulo **George Claudes** puso a prueba un sistema de ciclo abierto que él mismo había diseñado. Lo llevó a cabo en la bahía cubana de Matanza, aunque la prueba fue un fracaso, ya que consumía más que de lo que producía. Años después realizó un nuevo diseño de planta flotante de ciclo abierto que instaló en un carguero instalado frente a las costas de Brasil; nuevamente fracasó. Murió años más tarde en la más absoluta ruina al invertir todo su capital en el sueño de su vida, «construir un planta termomarina».

La idea la recogió el gobierno francés prosiguiendo las ideas de George Claudes en plantas de ciclo abierto. Las investigaciones duraron varios años, llegando a planear las instalaciones en las costas de Abidján aunque a causa de la grandes dificultades del tendido de tuberías nunca se llegó a construir. Debido a la crisis de los 70, Japón y Estados Unidos relevaron a Francia en el proyecto OTEC.

Estados Unidos fue el primer país en construir una planta experimental de ciclo cerrado; el estado de Hawai y la compañía Lockheed diseñaron una mini-estación OTEC que montada en una nave funcionó ininterrumpidamente durante 4 horas en períodos de 15 días. Además, se construyó un sistema experimental instalado en un buque cisterna de la armada; este sistema funciona siempre que el buque se encuentre navegando por las aguas tropicales.

El gobierno japonés y las empresas Tokio Electric Power y Toshiba construyeron una planta de ciclo cerrado en la isla de Namu.

Actualmente se está investigando la idea de aprovechar el calor de ciertas corrientes marinas de aguas calientes, así como aquellos puntos estratégicos donde los volcanes marinos se encuentran en continua actividad.

### **Proyecto Ocean Thermic Energy Conversion. OTEC.**

El proyecto OTEC, como su nombre indica, es el proyecto que se ha llevado a cabo con el fin de desarrollar la técnica necesaria y suficiente, para la conversión de la energía calorífica de los mares y océanos en energía eléctrica. El proyecto se basa en dos sistemas, fundamentalmente:

#### **1.- Sistema de Ciclo Cerrado:**

Un líquido de bajo punto de ebullición, amoníaco o freón principalmente, es bombeado a través de un termostato a un recipiente o recinto en el cual la acción del agua caliente provoca la evaporación y el vapor hace mover una turbina conectada a un

generador eléctrico que origina la electricidad. Una vez pasada la turbina, y a baja presión, pasa por un nuevo termoperturbador donde se enfría con el agua de las profundidades marinas. El líquido operante condensado comienza de nuevo el ciclo.

## **2.- Sistema de Ciclo Abierto:**

Este sistema es un sistema posterior al de ciclo cerrado, con el propósito de minimizar gastos y, en consecuencia, rentabilizar al máximo la planta. En ese sistema, el líquido operante es el agua cálida del mar, a la que se la somete a evaporación en una cámara de vacío, produciéndose vapor de baja densidad. Para esto se necesita una gran cantidad de agua marina. Al vapor de agua se le hace pasar por una turbina que conectada a un generador produce electricidad. Una vez que el vapor de agua pasa por la turbina se le condensa, volviendo a su estado líquido y, por lo tanto, pudiendo ser devuelto al mar en su estado original.

El proyecto OTEC sigue hoy en día, después de tanto tiempo, teniendo numerosos seguidores, ya que sus objetivos son de gran utilidad y provecho para la humanidad. Hemos comentado la obtención de electricidad, pero el proyecto contempla la obtención de agua dulce, tan necesitada hoy en día. El vapor de agua que mueve la turbina no es tan rico en sales como la del agua marina. Recordemos que nosotros obtenemos la sal común de la evaporación del agua del mar en las salinas; en las centrales OTEC de sistema abierto se produce el mismo proceso, con lo cual obtendríamos agua dulce que con un tratamiento de aguas podría llegar a ser agua potable. Según hemos visto, estas instalaciones mueven cantidades de fluido que se encuentran a distintas temperaturas, por lo tanto, otra de las finalidades del proyecto OTEC es ser fuente de sistemas de calefacción, refrigeración y aire acondicionado.

Los objetivos del proyecto OTEC son sin duda la solución energética de nuestros días. Sin embargo, se encuentra con un tremendo problema que los científicos tenemos que resolver: para que el proyecto OTEC sea una realidad viva, este problema, que es

el gran poder corrosivo de las aguas marinas que en poco tiempo hace que cualquier material se encuentre en un estado lamentable, y en consecuencia no cumpla con las funciones para las cuales ha sido diseñado, ha de ser solucionado. El segundo gran problema que tiene el proyecto OTEC es que cualquier planta diseñada para este objetivo, es elevadamente cara porque tiene que soportar todas las inclemencias del estado de la mar, ya que el primer estudio a realizar cuando se piensa en una de estas plantas es el de encontrar el lugar apropiado que reúna la temperatura adecuada del agua y en el que se puedan realizar las obras oportunas. Ésta es la razón por la cual se ha realizado una planta flotante en un buque de la armada norteamericana; sin embargo, esta planta sólo es experimental. Nos interesa, sin embargo, que la planta energética se encuentre localizada en un determinado lugar para poder, una vez obtenida la energía utilizable, distribuirla a aquellos lugares donde sea necesaria.

### **Energía Maremotriz**

Cualquier marino de cualquier época siempre ha temido y teme la ira de Neptuno. Incluso en la actualidad, con tantos medios tecnológicos a nuestro alcance, todos los años se produce algún naufragio. Después de cualquier desastre todos nos preguntamos si este poder destructivo que tiene el mar en sus olas y mareas no lo podremos aprovechar. La respuesta la encontramos en la central maremotriz de La Rance en Francia, la central experimental de Kaimeí en Japón, las centrales del Norte de Europa, principalmente las de Kvaerner en Noruega y los proyectos de Gran Bretaña en los estuarios del río Severn y en la bahía de Fundy en Canadá.

Los mecanismos utilizados en las centrales maremotrices para el aprovechamiento de la energía de las olas y mareas, son diversos y aunque estos mecanismos sean muy recientes existe una gran variedad. Hay mecanismos que se utilizan para obtener energía de las olas totalmente diferentes a los utilizados para ob-

tenerla de las mareas. Las instalaciones para el aprovechamiento de la energía de las mareas siempre se encuentran en aquellos lugares donde el efecto marear sea importante, siempre en lugares próximos a las costas, en bahías, etc. Sin embargo, las instalaciones para el aprovechamiento de las olas se pueden encontrar fijas a las costas o en el mar, por lo que podemos clasificarlas en:

- 1.- Flotantes:** son aquellas que se encuentran en mar abierto.
- 2.- Continentales:** son aquellas que se instalan fijas en la plataforma continental.

El mecanismo para el aprovechamiento de la *energía de las olas* es muy sencillo. Consiste en un cilindro vertical, sujeto a un acantilado si la instalación es continental o simplemente como una boya si el sistema es flotante. Las olas penetran por la parte inferior del cilindro, desplazando hacia arriba una columna de aire que impulsa una turbina que se encuentra en la parte superior del cilindro.

El mecanismo de las instalaciones de obtención de la *energía de las mareas* es más complicado: el de la central de Rance está basado en unas turbinas especiales, las cuales pueden ser accionadas por agua en cualquiera de los dos sentidos, funcionando de esta forma tanto en pleamar como en bajamar. Al subir la marea, el agua es dirigida a través de unos grandes canales que desembocan en las turbinas, que son así accionadas. Según la marea va bajando, se contiene el agua en una presa hasta que la marea se encuentra en su nivel más bajo, soltando en este instante el agua retenida y accionándose de nuevo las turbinas. Además esta central, en momentos en que las necesidades energéticas sean superiores a las que está produciendo, dispone de un mecanismo adicional que pone en funcionamiento unas bombas que elevan el agua al embalse y aumentando en estas circunstancias la producción de electricidad.



**¿Cuál es el futuro de la energía del agua?** El futuro energético del agua es la descomposición de ésta en sus elementos fundamentales, es decir, hidrógeno y oxígeno, a partir de los cuales se puede generar una mayor cantidad de energía.



## 5

### LA TIERRA Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO

El hombre con toda su avanzada tecnología, no es capaz de dominar el poderoso potencial energético del interior de nuestro planeta. En su afán de conocer para poder explicar y así dominar, se encuentra que el poder calorífico del interior de la tierra es imposible de controlar, debido a sus altas temperaturas y a su profundidad. Tampoco es capaz de dominar, ni siquiera predecir con anticipación, los movimientos sísmicos y aprovechar así la fuerza que produce el movimiento de las placas tectónicas.

Ante tal poderío energético el hombre no descarta en ningún momento su aprovechamiento. ¿Cómo aprovechar la energía de los terremotos y maremotos? Hoy en día es un sueño, ya que este tipo de movimientos son muy violentos, puntuales y extremadamente breves. No disponemos de dispositivos capaces de convertir tal poderío energético en energía disponible para el hombre. Sí en algún momento diseñáramos dispositivos capaces de transformar este tipo de energía, deberían ser de tal forma que cuando se produjera el movimiento, su fuerza fuera comunicada a un mecanismo capaz de transformarla en electricidad y que no fuera diluida por el movimiento sísmico. No disponemos de materiales que puedan soportar un terremoto y simultáneamente transformar su energía en aprovechable. Los maremotos, al igual que los terremotos, no pueden controlarse con ningún mecanismo actual. Su fuerza mare-

motriz, transmitida en las olas, es otra de las muchas energías que desarrolla la tierra en sus movimientos internos y que no puede ser aprovechada, por el momento. Probablemente se tardará todavía mucho en poder aprovecharla.

La Tierra, aunque la veamos tranquila y aparentemente «quieta», se encuentra en constante cambio, como todo sistema dinámicamente activo. Se ha observado que las placas se mueven aproximadamente unos 2 cm por año, poco si consideramos que la vida media de un hombre en el mundo civilizado es aproximadamente de unos 70 años y, por lo tanto, a lo largo de la vida de un hombre las placas se mueven 140 cm, nada perceptible en el transcurso de una vida humana.

Sin embargo, a lo largo de millones de años, este movimiento puede producir una nueva geografía de nuestro planeta, por ejemplo el cierre del estrecho de Gibraltar, dejando al mar Mediterráneo totalmente cerrado. No tenemos porqué alarmarnos; para que suceda esto todavía tiene que pasar mucho tiempo e incluso pueden ocurrir antes otros tipos de fenómenos, como la colisión con la Tierra de un macroasteroide, etc. Esto sólo son predicciones, pero a nosotros nos interesa cómo desde el momento actual podemos aprovechar mejor nuestros recursos naturales y, de esta manera, seguir viviendo con todas nuestras comodidades y no dañar el medio ambiente.

Sin embargo, la Tierra nos ofrece otra alternativa. Como toda madre a sus hijos, la Tierra nos da su calor, calor en algunos casos excesivo, como podemos recordar por la ciudad romana de Pompeya al pie de Vesubio así como en tantas otras erupciones de volcanes, pero calor en muchas ocasiones controlable y benéfico.

Aunque el poder calorífico terrestre es incalculable y en algunos casos, como los ya citados, incontrolable, existen lugares donde sí se puede aprovechar tanta energía calorífica, o sin duda es la Tierra quien nos deja utilizar su energía interna; de alguna forma volvemos a depender de ella como en la antigüedad.

## **Localización de Fuentes Geotérmicas**

Hace 200 millones de años la Tierra estaba formada por un único continente llamado «pangea». Desde entonces, y debido a su actividad interna, este continente se fue separando dando lugar a los continentes que hoy en día conocemos. Podemos pensar que la Tierra ha terminado su evolución y que será así hasta que llegue el fin de sus días. Pero si tenemos en cuenta que la Tierra está viva, no en el concepto de ser vivo como aquél que nace, crece, se reproduce y muere, sino como un sistema que se encuentra en constante cambio y ante el que nosotros nos encontramos impotentes, nos percataremos de que este pensamiento no tiene mucho fundamento. Hechos bastante recientes nos lo confirman. En el invierno de 1963, en el Atlántico Norte en la costa meridional de Islandia, se produjo una abrasadora erupción que dio lugar a la isla de Sarseijk, isla de carácter volcánico, de reciente formación y que supone el lugar idóneo para el estudio de la Tierra. Generalmente los focos térmicos son cámaras magmáticas en curso de enfriamiento; en consecuencia, los campos geotérmicos están asociados a regiones volcánicas o a bordes activos de placas, como en el caso de Islandia.

La zona más interna de la Tierra mantiene una constante actividad térmica como fuente de calor, dando lugar a un gradiente térmico de temperaturas medias de 30°C/kilómetro. Este gradiente térmico es el responsable de la transmisión de calor hacia la superficie. Sin embargo, la transmisión de calor es «apantallada» por las diferentes capas de la Tierra y sólo en aquellos lugares donde el apantallamiento es menor o inexistente por anomalías geotérmicas como volcanes, actividades recientes, fuentes hidrotermales, emanaciones gaseosas, etc. serán los idóneos para poder aprovechar el calor de la Tierra.

La tecnología que se ha venido empleando es la misma que la utilizada en la prospección de otros recursos naturales. Sin embargo, y debido al gran desarrollo que ha experimentado la te-

ledetección e interpretación de imágenes vía satélite, actualmente la mayoría de los estudios que se realizan tienen sus orígenes en la interpretación de las imágenes enviadas por los satélites, ya que estas imágenes nos indican aquellos lugares térmicamente activos o más favorables para ser estudiados.

## **Yacimientos Geotérmicos**

La localización de extensas zonas que se encuentren a elevadas temperaturas y a profundidades asequibles, es la primera condición que debe reunir el lugar en el cual queremos la ubicación de una **central geotérmica**. Además, la zona, de altas y no profundas temperaturas, debe estar constituida por formaciones geológicas porosas o por fisuras. Si no fuera así, la baja conductividad térmica de los compuestos que forman las capas impedirían la transferencia de calor. Según nos encontremos en una zona más o menos porosa o en lugares donde las rocas sean más o menos frías, tendremos los siguientes tipos de yacimientos geotérmicos:

**1.- Yacimientos de Altas Temperaturas;** son yacimientos basados en la conservación interna del calor. Existe un foco de calor activo, una zona de material que almacene el calor a alta temperatura y una cobertura de materiales impermeables al calor, que no dejan que el calor escape hacia la superficie. Por lo general, suele existir un escape de calor en forma de géiser, fumarola o cualquier otra tubería natural. Los yacimientos de altas temperaturas suelen alcanzar una temperatura que oscila entre 350°C y 150°C a una profundidad que oscila entre 1.500 y 2.500 metros. Este tipo de yacimientos da lugar a las centrales geotermoeléctricas, cuyo funcionamiento está basado en la extracción del calor de la zona de almacenamiento mediante una tubería que llevará el aire caliente extraído del interior de la Tierra a la sala de turbina - generador, donde la energía geotérmica se transformará en energía eléctrica.

**2.- Yacimientos de Baja Temperatura;** son yacimientos basados en la transmisión de calor hacia la superficie. Sólo es necesaria la existencia de una capa de materiales que almacenen el calor en su difusión hacia la superficie. El aprovechamiento energético en este tipo de yacimientos es directo, al encontrarse la zona de almacenamiento del calor entre unos 1.500 y 2.500 metros y a una temperatura que varía entre 60°C y 90°C. El calor se extrae directamente para ser utilizado en forma de agua caliente y calefacción en los centros de consumo.

**3.- Yacimientos de Roca Caliente;** son los yacimientos que se basan en la transmisión de calor entre materiales, sin fluido térmico. Este tipo de yacimientos hoy en día no son muy rentables, ya que la técnica que se necesita es muy costosa.

### **Futuro de la Energía Geotérmica.**

El aprovechamiento energético del interior de nuestro planeta plantea algunas incógnitas, para las cuales hoy en día nos encontramos sin respuesta.

**¿Hasta qué punto son rentables?** Sólo son rentables en aquellas zonas privilegiadas del planeta donde se dan las condiciones óptimas y que, generalmente, son zonas de gran actividad sísmica.

**¿La construcción de una central geotérmica repercute desfavorablemente en el medio ambiente?** La construcción de cualquier tipo de central de aprovechamiento energético modifica las condiciones medioambientales. Este tipo de centrales, seguramente, son las que más modifican el medio ambiente, ya que no sólo alteran la superficie terrestre, sino también las profundidades. La peor repercusión de este tipo de centrales sobre el medio ambiente es la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas que se encuentren alrededor de la central. Las demás repercusiones medioambientales son similares a las producidas en las extracción de minerales.

**¿Qué aplicaciones puede tener la energía geotérmica?** Las aplicaciones que tiene en la actualidad la energía geotérmica son, principalmente, las de los yacimientos a baja temperatura, es decir, la producción de calor principalmente en forma de agua caliente, calefacción de viviendas, procesos industriales, usos agrícolas, etc. Los yacimientos de altas temperaturas producen electricidad, aunque su rendimiento es muy bajo.

**¿En qué país se está utilizando la energía geotérmica?** El país con el mayor aporte de energía geotérmica es Estados Unidos, con sus extensos campos geotérmicos de California, localizados a unos 112 kilómetros al norte de San Francisco. Estados Unidos actualmente aprovecha unos 2.500 MW de electricidad gracias a sus centrales geotérmicas. Italia es el país con mayor aprovechamiento geotérmico en Europa, obteniendo una potencia media de unos 510 MW. La central de Larderello es la más famosa de Italia, así como la utilización del calor aprovechado en balnearios, calefacción, aplicaciones agrícolas. Méjico posee un aprovechamiento medio de 660 MW, siendo una de sus centrales más importantes la de Cierro Prieto. Filipinas, con un aprovechamiento energético aproximado de 900 MW, así como la central de Wairakei en Nueva Zelanda son otros buenos ejemplos de aprovechamiento geotérmico.

El aprovechamiento energético geotérmico en España es conocido y utilizado en balnearios desde hace mucho tiempo. Aunque no disponemos de ninguna central geotermoeléctrica, sí aprovechamos el calor de nuestro planeta en diversos lugares del país, siendo el más representativo la Comunidad Canaria.

**¿Cuándo, y por quién, se empezó a desarrollar esta fuente energética?** Las primeras instalaciones se desarrollaron en Estados Unidos a comienzos de los 60, aunque no podemos olvidar a todas aquellas civilizaciones de los diferentes continentes que, por encontrarse en lugares privilegiados, la utilizaron desde la antigüedad, bien como fuente de calor (suelos o paredes «térmicas»

en casas situadas en terrenos cercanos a volcanes, incluso cocinas o fogones), bien como fuente de salud (los miles de balnearios situados en prácticamente todos los países del mundo son buena muestra de ello).

**¿Cuál es el futuro de la energía geotérmica?** Se calcula que para el año 2003 se pueda aprovechar energéticamente el magma volcánico. Esto supondrá un gran avance para el desarrollo de la energía geotérmica.







## 6

### EL SOL Y LA ELECTRICIDAD

La generación de una fuerza electromotriz por la absorción de cualquier tipo de radiación ionizante en un material semiconductor se denomina **efecto fotovoltaico**. Para poder entender esta definición en toda su plenitud nos remontaremos a la evolución histórica de una parte de la física, denominada física de materiales.

En 1839, el físico francés **Becquerel** realizó un experimento que consistía en el estudio de la creación de una tensión eléctrica en función de unos electrodos sumergidos en una disolución débilmente conductora. Realizó este experimento varias veces a fin de buscar las condiciones más favorables para la creación de la máxima tensión. Llegó a la conclusión de que si el experimento se realizaba con la acción de la luz era más favorable que si se realizaba sin la acción de la luz. Obtenida esta conclusión, varió la fuente luminosa concluyendo que no se obtenían los mismos resultados para diferentes tipos de luz. Después de algunos meses de duro trabajo, resumió todos sus resultados en dos postulados:

1.- La corriente que existe entre los electrodos se modifica sustancialmente cuando la luz incide en uno de los dos electrodos.

2.- La corriente entre los electrodos varía según la naturaleza de la fuente luminosa que ilumine el experimento.

Unas décadas después, en 1877, **Adams y Day** estudiaron contactos de platino en selenio y curiosamente llegaron a las mismas conclusiones que unos años antes Becquerel había obtenido. De esta manera se construyeron los primeros dispositivos capaces de aprovechar la luz, denominados *células solares*, las cuales estaban basadas en el selenio, aunque tenía un rendimiento muy pequeño, inferior al 1%. Aunque en estas fechas no se conocía el porqué del fenómeno, sí se conocía cómo se podían fabricar este tipo de dispositivos.

El misterio del efecto fotovoltaico quedó resuelto por el enigmático genio **Albert Einstein**, que recibió el premio nobel en 1921 por la explicación de este fenómeno y no por la relatividad especial, como el inmenso «populus» piensa.

No entraremos en su curiosa personalidad ni en sus numerosas teorías ni relevancia científica; sólo nos centraremos en su explicación del efecto fotoeléctrico. La sociedad científica, en sus numerosos experimentos, había llegado a la conclusión de que no valía cualquier material para que se observara el efecto fotoeléctrico; debían ser sistemas heterogéneos, es decir, sistemas formados por más de un elemento, como el construido en 1877 por Adams y Day.

En 1905, Einstein aplicó la idea de la cuantificación de la energía a la teoría de Planck sobre la radiación que poseían los osciladores elementales en las paredes interiores de un cuerpo negro. Einstein explicó de la siguiente manera el *efecto fotoeléctrico*:

«La radiación está constituida por cuantos indivisibles de energía que interaccionan con la materia de forma localizada. Estos cuantos de luz, denominados **fotones**, penetran a través de la superficie del electrodo que hace de blanco. El fotón le comunica su energía a algún electrón con el que interacciona; parte de la energía del cuanto de luz se transforma en **energía cinética del electrón**. Si el electrón se encuentra en el interior del material, parte de esta energía transmitida al electrón se perderá en conseguir que éste llegue a la superficie del material. Si el electrón se encuentra en la superficie, será más fácil que la energía comunicada por el cuanto

de luz sea superior a la energía de atracción del núcleo; si la energía comunicada es mayor que la de atracción, el electrón abandonará el átomo al que pertenecía. En consecuencia, la energía comunicada al electrón debe ser capaz de arrancarle del átomo al cual pertenece.

El trabajo necesario para arrancar al electrón del átomo se denomina **función de trabajo del material**, y es propia de cada material. Estos electrones que abandonan sus átomos forman una **corriente eléctrica** o, en el caso de que existiera debido a procedimientos electroquímicos, ésta se ve aumentada por la acción de la luz.»

En la década de los 50, debido al gran desarrollo de la física cuántica y la física de materiales, se descubrieron ciertas propiedades eléctricas en algunos materiales, por lo que se clasificó a los materiales en función de sus propiedades eléctricas en **conductores, semiconductores y aislantes**. A partir de este momento se disponía de los conocimientos y tecnología suficiente para construir células solares de silicio con un rendimiento del 4%.

La conquista del espacio por el hombre en la década de los 60 fue la razón por la cual la tecnología fotovoltaica se empezó a desarrollar industrialmente. A partir de aquí, y hasta el momento, la búsqueda de nuevos materiales que tengan un mayor rendimiento es el reto de todo científico que se dedique al estudio de las células solares.

El aprovechamiento de la energía solar en energía eléctrica se denomina **energía fotovoltaica**. El aprovechamiento de la energía fotovoltaica comienza al disponer de células solares con el mayor rendimiento posible. Además necesitamos elementos para su transporte y almacenamiento. Trataremos de llegar a comprender en su totalidad este curioso y fascinante mundo.

## **Semiconductores**

Los descubrimientos del siglo XIX llegaron a la conclusión de que la materia estaba formada por átomos eléctricamente neu-

tros. Esta neutralidad eléctrica se debía a la igualdad del número de cargas positivas y negativas. En 1904, **J.J.Thomson** propuso el primer modelo atómico: el átomo estaba formado por una esfera uniforme cargada positivamente. En el interior de esta esfera se encontraban los electrones, como las pipas de una sandía. En 1910, **Rutherford**, como conclusión de unos experimentos, dio otra visión del átomo: el átomo está formado por una parte central a la cual denominaremos núcleo, en la que se encuentra la gran parte de la masa del átomo. El núcleo está formado por partículas denominadas protones, con carga positiva, y alrededor del núcleo se mueven el mismo número de partículas de carga negativa, denominadas electrones. Por lo tanto, el átomo se encuentra eléctricamente neutro. Rutherford propuso la existencia de partículas neutras en el núcleo para poder explicar la estabilidad del núcleo; a estas partículas las denominó neutrones y fueron descubiertas en 1932 por **J.Chadwich**. Los electrones de Rutherford se movían en órbitas alrededor del núcleo, de tal forma que la fuerza de atracción esté compensada por la fuerza centrífuga. Esta explicación se enfrentaba a la teoría electromagnética de **Maxwell**, según la cual toda partícula cargada en movimiento debe emitir energía radiante. Por lo tanto, según esto, en el modelo de Rutherford los átomos deberían ser muy inestables y, además, deberían estar emitiendo energía constantemente.

En 1913, **Niels Bohr** observó que los espectros atómicos no eran continuos, sino que estaban formados por líneas denominados espectros de línea. Por lo tanto, los átomos sólo podían emitir energía de modo discontinuo. Bohr propuso un modelo para el átomo de hidrógeno: el electrón del átomo puede moverse en ciertas órbitas circulares estacionarias, denominados niveles de energía, en las cuales el electrón no emite energía. Estos *niveles de energía* estaban caracterizados por un número entero «n»; para el primer nivel energético, n es igual a 1, para el segundo nivel energético «n»es igual a 2, y así sucesivamente. El movimiento del electrón

de un nivel de energía superior a otro de energía inferior estaría acompañada de una emisión energética, al igual que para poder pasar el electrón de un nivel energético inferior a otro superior debe absorber energía. Tanto la admisión como la absorción energética debe de ser, como expuso Einstein, en forma de cuantos energéticos o fotones. En condiciones normales, el electrón del átomo de hidrógeno se encuentra en el estado fundamental o de más baja energía. Este nivel energético corresponde con la órbita de Bohr, que es aproximadamente igual a medio Amstrong; a los demás estados energéticos se les denomina «estados excitados» y para conseguir que el electrón pase del estado fundamental al primer estado excitado hay que darle un cuanto de energía. De la misma manera, al pasar el electrón del primer estado excitado al estado fundamental emitirá una radiación energética igual a un fotón.

**Sommerfeld** estudió el modelo de Bohr correspondiente a otros átomos, para lo cual tuvo que realizar algunas modificaciones. Para el primer nivel energético, la órbita que le correspondía al electrón era una órbita circular, coincidiendo con lo que había dicho Bohr. Sin embargo, para el segundo nivel energético, la órbita podía ser circular o elíptica; en el tercer nivel energético, el electrón podía describir una órbita circular o dos elípticas, siendo éstas diferentes. Para poder explicar este tipo de movimiento se introdujo otro número « $l$ » que nos decía la forma de la órbita. Si « $l$ » es igual a 0 la órbita es circular, si « $l$ » es igual a 1 la órbita es elíptica, si « $l$ » es igual a 2 la órbita sería elíptica, pero mayor y en diferente dirección que cuando « $l$ » es igual a 1. En consecuencia, este modelo no era tan satisfactorio para aquellos elementos diferentes del hidrógeno.

Mientras que Sommerfeld intentaba adaptar el modelo de Borh a otros átomos diferentes al hidrógeno, **Werner Heisenberg** y **Erdin Schödinger** desarrollaban la mecánica cuántica. El despertar de esta nueva disciplina en la física se realizó en torno a 1925. La mecánica cuántica establece que es imposible deter-

minar con exactitud la órbita de un electrón y el movimiento del mismo simultáneamente. Según el principio de incertidumbre de Heisenberg, que nos dice que a nivel microscópico no podemos conocer simultáneamente la posición y la velocidad de un electrón, podemos conocer la probabilidad de que un electrón se encuentre en una determinada región del espacio en un instante determinado. A esta región del espacio en la cual existe la probabilidad de encontrarse el electrón se le denomina **orbital**. Para poder encontrar esta zona en la cual puede encontrarse el electrón, Schrödinger planteó y resolvió, con la ayuda de un magnífico matemático llamado **P.A.M.Dirac**, la ecuación que determina el orbital, denominada «ecuación de onda» o *ecuación de Schödinger*. El nombre de ecuación de onda es debido a que toda partícula lleva asociado un movimiento ondulatorio, por lo que se puede tratar al electrón como a una partícula con su masa o como una onda. La solución de esta ecuación nos da unas funciones denominadas *funciones de onda*, que nos delimitan la región en la cual existe la máxima probabilidad de encontrar al electrón. Al resolver la ecuación de onda nos encontramos con cuatro números que nos caracterizan nuestro orbital; el primero nos da información sobre el tamaño y energía del orbital y es denominado número cuántico principal «n»; el segundo nos caracteriza el orbital y se le llama número cuántico azimutal «l»; el tercer número nos caracteriza las propiedades del electrón cuando éste está sometido a un campo magnético y es denominado número cuántico magnético «m»; el cuarto número nos da información sobre la rotación del electrón sobre su eje y se le llama spin «s».

Una vez conocido el átomo podemos estudiar la estructura electrónica que nos definirá las propiedades de los elementos y sus combinaciones. La estructura electrónica de los átomos de los diferentes elementos depende del modo en que los electrones ocupan los distintos orbitales atómicos. A esta forma de definir la estructura electrónica se le denomina *principio de construcción*.

Los electrones de un átomo en estado natural se distribuyen de forma que la energía sea mínima, es decir, los electrones ocupan los orbitales de menor a mayor energía. A esta forma de distribución electrónica dentro del átomo se le denomina *principio de mínima energía*. Además, en ningún átomo pueden existir dos electrones caracterizados de la misma manera, es decir, que tengan los cuatro números cuánticos iguales; a este principio se le denomina *principio de exclusión de Pauli*. El principio de exclusión de Pauli nos dice que tenemos la máxima probabilidad de encontrar un electrón en un determinado lugar del espacio y sólo encontraremos un electrón, y no más, ya que nosotros no podemos distinguir un electrón de otro de ninguna manera. Estos tres principios nos definen el orbital donde se encuentra el electrón. El número de electrones nos define el elemento y la distribución de estos electrones en el átomo nos define sus propiedades. En consecuencia, las propiedades de los elementos las hemos definido por los números cuánticos.

Los electrones que ocupan los orbitales más externos se denominan *electrones de valencia* y son los que intervienen en la formación de los enlaces entre los átomos o enlaces químicos. Hay tres tipos de enlace químico; al enlace que permite unir a un elemento que posee pocos electrones de valencia, con otro elemento que tiene muchos electrones de valencia (al unirse estos elementos se forma un compuesto neutro) se le denomina «**enlace iónico**» y su ejemplo más conocido es el caso de la sal común o cloruro sódico.

Al enlace formado por elementos que sólo posean un electrón de valencia (por ejemplo el cobre, que sólo posee un electrón de valencia, sobre el cual la fuerza de atracción del núcleo es pequeña), se le denomina «**enlace metálico**», ya que todos los átomos comparten sus electrones de valencia creando así una nube electrónica que rodea a todos los átomos. Existe un tercer enlace, el «**covalente**» en el que los átomos tienen el mismo número de electrones de valencia que son compartidos por los núcleos. Un ejemplo de este enlace se da en el silicio.



Si los átomos tienen el mismo número de electrones, al unirse formarán los elementos químicos; si los átomos que se unen tienen distinto número de electrones, forman compuestos. Tanto los elementos como los compuestos pueden encontrarse en los tres estados de la materia: gaseoso, líquido y sólido. Los sólidos pueden estar formados por un alineamiento de idénticas estructuras unitarias que se les denomina base cristalina; a estos sólidos se les denomina *sólidos cristalinos*, aquellos que no están formados por este tipo de alineamiento se les denomina «sólidos amorfos».

Centraremos nuestra atención sobre los sólidos cristalinos, principalmente. Están formados por un alineamiento de idénticas estructuras unitarias denominada «base cristalina»; cada base ocupa un nudo de una red periódica en el espacio denominada red cristalina, por lo tanto, podemos definir a los sólidos cristalinos como aquellos sólidos que tienen una red y base cristalina o estructura cristalina.

Entre los sólidos cristalinos encontramos algunos cuyo número de electrones de valencia de sus átomos es el mismo o muy similar, como puede ser el silicio. Forman un enlace llamado *enlace covalente*; un átomo cede los electrones de valencia a otro átomo consecutivo. De esta forma cada átomo completa su último orbital atómico al compartir los electrones de valencia.

Otros sólidos cristalinos tienen un electrón de valencia; en consecuencia, sus átomos ejercen sobre ellos una fuerza de atracción pequeña. Por eso podemos realizar una primera distinción entre los sólidos; aquellos cuyos átomos ejercen una atracción pequeña sobre los electrones de valencia, denominados «metales» (con la característica de que son buenos conductores de la electricidad, entre otras muchas) y los elementos cuyos átomos ejercen una fuerza de atracción enorme sobre los electrones de valencia, a los que se les denomina «no metales». La caracterización de esta clasificación ha sido realizada en función de una de las múltiples propiedades de los enlaces, denominada «electronegatividad», la

cual nos mide la fuerza de atracción de un átomo sobre una pareja de electrones de otro átomo. En los no metales existen algunos elementos que en ciertas circunstancias se comportan como metales y en otras como no metales. A estos elementos se les denomina *semiconductores*, ya que bajo ciertas condiciones son capaces de conducir la electricidad y en otras no. Al resto de los sólidos se les denomina «aislantes».

Hemos podido clasificar la unión entre átomos partiendo de la energía que tenía un átomo aislado. Al unirse los átomos compartiendo sus electrones para formar un sólido cristalino, se distribuyen para formar la estructura cristalina. Si realizamos un estudio energético tendremos la energía del electrón en un átomo aislado más un porcentaje energético, debido a las fuerzas de atracción y repulsión que aparecen entre los distintos electrones que se encuentran en el sólido. La energía de los electrones no sólo será debida a las fuerzas de atracción y repulsión de los átomos, sino también al movimiento que realicen los electrones en el sólido. Recordando la mecánica cuántica, la energía de un electrón en un átomo está caracterizada por el número cuántico principal « $n$ »; en el sólido cristalino la energía, además de estar caracterizada por el número cuántico principal  $n$ , también se caracteriza por un vector que nos da información sobre el movimiento del electrón en la estructura cristalina, denominado vector de ondas y que se representa por el vector « $k$ ». Si representamos las energías de los electrones del sólido en función del vector de ondas, es decir, si realizamos un diagrama energético, tendremos electrones cuya energía es menor que la energía de ligadura al átomo. A este rango energético se le denomina «banda de valencia» y los electrones cuya energía en función del vector de ondas que nos representa el movimiento se encuentren en este rango, diremos que se encuentran en la banda de valencia. Aquellos electrones que tengan una energía superior a la energía de ligadura al átomo se encuentran en otro rango energético denominado «banda de conducción» y

todo electrón cuya energía se encuentre en esta zona del diagrama energético diremos que se encuentra en la banda de conducción.

Si la banda de valencia y de conducción se solapan, es decir, si no podemos distinguir entre los electrones cuya energía es menor o mayor que la energía de ligadura al núcleo, tendremos electrones libres capaces de moverse dentro del sólido y, por lo tanto, capaces de transportar la corriente eléctrica. A este tipo de sólidos los conocemos como *conductores*. Si podemos distinguir entre los electrones que tienen una energía inferior o superior a la energía de ligadura, encontramos una zona en nuestro diagrama energético donde no tendremos valores; esta zona, comprendida entre la mínima energía que pueden tener los electrones en la banda de conducción y la máxima energía que pueden tener los electrones en la banda de valencia, se le denomina «GAP» o *zona prohibida*. Si el valor del gap es igual a cero no tendremos banda prohibida y en consecuencia, tendremos conductores. Si el valor del gap es distinto a cero, tendremos que estudiar, en función del gap, los sólidos cristalinos.

Si el material que constituye el sólido se encuentra a temperaturas muy bajas, las bandas no se solapan, los electrones están bastante ligados a sus átomos correspondientes y, por lo tanto, todos los electrones se encontrarían en la banda de valencia. A estos materiales se les denomina «aislantes» a bajas temperaturas. Si aumentamos lentamente la temperatura, el electrón va aumentando su energía debido a la agitación térmica que produce la subida de la temperatura y llega un momento en que los electrones adquieren la suficiente energía como para poder superar el gap y pasar a la banda de conducción; por lo tanto, el electrón que se encontraba en la banda de valencia ahora se encuentra en la banda de conducción. El electrón deja libre su lugar en la banda de valencia y este lugar, que anteriormente estaba ocupado por una partícula de carga negativa, adquiere carga positiva por este «abandono» del electrón. En este lugar no existe ninguna partícula real con carga positiva, pero para

poder simplificar la comprensión de las consecuencias que produce la ausencia del electrón, «**imaginamos**» que cuando un electrón pasa de la banda de valencia a la banda de conducción en la banda de valencia aparece una partícula con las mismas características que el electrón, pero con carga positiva, y con un movimiento de sentido contrario al del electrón en el sólido. A esta partícula se la denomina «**huevo**». A estos materiales cuyos electrones son capaces de saltar de la banda de valencia a la de conducción, es decir, que son capaces de adquirir tanta energía como para pasar de la banda de valencia a la de conducción y crear de esta forma un par electrón-huevo, se les denomina «semiconductores», con la característica de que la conducción eléctrica es debida tanto a los electrones como a los huecos. Aquellos materiales que se funden antes de que un electrón salte a la banda de conducción desde la banda de valencia se les denomina «aislantes», ya que nunca han sido capaces de conducir electricidad, es decir, no tienen electrones en la banda de conducción.

Estudiando los elementos de la tabla periódica nos encontramos que el carbono, el silicio, el germanio así como otros elementos semiconductores que poseen una característica común: todos tienen cuatro electrones de valencia. Además el gap disminuye según aumentan el número de electrones del elemento o el radio atómico, es decir, es mayor el gap en el silicio que en el germanio. Estudiando los compuestos se encontró que el arseniuro de galio también es otro semiconductor y, de esta manera empezó la fiebre científica en la búsqueda de nuevos semiconductores.

Podemos clasificar los semiconductores en «intrínsecos» y «extrínsecos». Los primeros son los químicamente puros, pero éste es un concepto más teórico que práctico, ya que nunca se puede alcanzar en el proceso de fabricación del semiconductor dicha pureza. Los semiconductores extrínsecos son aquellos que tienen impurezas en la estructura cristalina. Los semiconductores extrínsecos, que son los que se obtienen en la realidad, contienen

impurezas de otros elementos. Por ejemplo, si a una muestra de silicio se le impurifica con fósforo, el silicio se «dopa» con fósforo, el cual tiene cinco electrones de valencia. Al ser un enlace covalente el existente entre el silicio y el fósforo, tendremos que los electrones del fósforo son cedidos al orbital atómico de un átomo vecino de silicio para completar así su última capa electrónica, que sólo necesita cuatro electrones. El núcleo de fósforo atrae débilmente al quinto electrón al encontrarse apantallado por los electrones de las capas interiores y con las interacciones existentes en la red cristalina, queda libre en la misma; a este tipo de semiconductores que tienen un exceso de electrones se les denomina «semiconductor tipo N». Si en lugar de dopar, impurificar, al silicio con fósforo se le dopa con boro, el cual tiene tres átomos de valencia, y al ser el enlace covalente, el boro cede al orbital atómico de un átomo vecino de silicio sus electrones para completar así su última capa electrónica. Como sólo le puede ceder tres electrones, al silicio le faltaría un electrón para completar su última capa o, dicho de otra manera, tendría la ausencia de un electrón, a lo que hemos definido anteriormente como hueco. A este tipo de semiconductores con un defecto de electrones o exceso de huecos se les denomina «semiconductores de tipo P». Normalmente un semiconductor extrínseco no sólo tiene impurezas de un solo elemento, sino de varios. En el diagrama energético que hemos realizado, la energía de estas impurezas se encuentra normalmente en la zona prohibida o gap.

Si iluminamos una superficie de un semiconductor, por ejemplo una superficie de silicio, a la cual conectamos mediante unos contactos metálicos (cables) en sus extremos a un voltímetro, polímetro o aparato de medida de la corriente eléctrica, observaremos que el voltímetro detecta una variación del voltaje en la muestra respecto a la medición realizada si la superficie no estuviera iluminada. Si analizamos este proceso físicamente tendríamos un proceso de interacción entre radiación electromagnética y un

semiconductor. La energía que llega al semiconductor en forma de luz es absorbida por el semiconductor, los fotones colisionan con los electrones del semiconductor así como con sus impurezas y estas colisiones proporcionan la suficiente energía como para crear pares electrón-hueco, tanto si su origen está en la banda de valencia como en la impureza. En este proceso sólo puede intervenir un semiconductor; en cualquier otro tipo de material, el proceso fotoeléctrico no se produciría, o no sería detectado por los aparatos de medida debido a su debilidad. En un aislante lo único que podría provocar la radiación solar sería la excitación de los electrones de la banda de valencia, los cuales nunca alcanzarían la energía suficiente como para alcanzar la banda de conducción; en consecuencia, no obtenemos electrones que se puedan mover en la banda de conducción y producir electricidad a partir de la luz solar. En un conductor, la energía transferida por los fotones a los electrones serviría para aumentar la velocidad de éstos. En consecuencia, sólo produciría un calentamiento del material. Sólo los semiconductores son capaces de aprovechar la energía electromagnética para producir electricidad. La energía que llega al semiconductor en forma de fotón, cuanto energético, se le comunica a los electrones del semiconductor; la energía transferida a los electrones de la banda de conducción, al igual que en los conductores, aumenta su velocidad, produciendo un calentamiento del material. Los fotones que colisionan con los electrones de la banda de valencia, les proporcionan a dichos electrones la energía suficiente para alcanzar la banda de conducción, creando pares electrón-hueco, o alcanzando los niveles energéticos de las impurezas. Las colisiones de los fotones con los centros de impurezas que se encuentran en el GAP, proporcionan la energía suficiente como para alcanzar la banda de conducción. En consecuencia, aumenta el número de electrones libres que se mueven en la banda de conducción, hecho que detecta el voltímetro, polímetro o aparato de medida utilizado en el experimento.

Una vez encontrados los materiales que pueden aprovechar la energía procedente del Sol y transformarla en electricidad, sólo nos queda optimizar este proceso, mediante el máximo aprovechamiento de la energía que nos llega y su conservación para poder así utilizarla cuando sea necesaria.

### **Células Fotovoltáicas**

Las **células fotovoltáicas** son aquellos dispositivos capaces de convertir, de forma inmediata y directa, la radiación luminosa en electricidad.

El fundamento físico de las células fotovoltáicas es una **unión P-N**; de esta forma se aprovecha al máximo la característica de los semiconductores de generar pares electrón-hueco a partir de la iluminación de una superficie semiconductor. Dopamos una muestra de silicio con fósforo, obtenemos un semiconductor tipo n, dopamos otra muestra de silicio con boro, obtenemos un semiconductor tipo p. «**Imaginemos**» que somos capaces de unir estos tipos de semiconductores formando una unión P-N; este proceso de fabricación de una unión P-N es más complicado que la unión de dos semiconductores, uno tipo N y otro tipo P, en la cual no entraremos en más detalles por alejarse del tema que nos incumbe. Tendríamos una zona en la cual los electrones del semiconductor tipo N se recombinarían con los huecos del semiconductor P, denominada zona de carga espacial. En este proceso se crearía una zona con carga negativa, debida al semiconductor tipo N, una zona neutra, que es la zona de carga espacial y una zona con carga positiva, debida al semiconductor tipo P. Como tenemos un lado cargado negativamente y otro positivamente separados por una distancia muy pequeña, aparece una diferencia de potencial entre los extremos de la zona de carga espacial, denominada «potencial de contacto». Después de las recombinaciones, y una vez llegado a un equilibrio eléctrico, el potencial de contacto evita el paso de electrones del lado N al

lado P y el paso de huecos del lado P al N. Al iluminar la unión, los fotones que llegan al material crean pares electrón-hueco y el potencial de contacto envía el electrón hacia el lado N y el hueco hacia el lado P, creando una corriente desde la zona N a la P. En este camino hay electrones que se encuentran con huecos y se recombinan, siendo mínimo este proceso. Al conectar la célula a un aparato de medida exterior, se detecta una corriente debida a los huecos que se desplazan hacia el lado P y que provocan una corriente hacia dicha zona, y de los electrones que van hacia la zona N y que provocan una corriente, en sentido contrario, hacia el lado P.

Como habíamos comentado, el aparato de medida nos dice que hay un movimiento de partículas cargadas en un determinado sentido; en consecuencia, obtenemos de la célula fotovoltaica corriente continua. (Recordemos que el flujo convencional de electrones o corriente convencional fue definido por Franklin en 1750 y nos dice que los electrones se mueven del positivo al negativo. Según se ha podido demostrar, los electrones se desplazan del terminal negativo al positivo; para explicar las corrientes a nivel microscópico, se utiliza éste último, sin embargo, a nivel macroscópico, se suele utilizar el convencional). Para que se produzca el efecto fotoeléctrico, el silicio sólo está dopado con fósforo y boro, para que los semiconductores tipo N y tipo P sean lo más puros posibles, evitando así cualquier otro tipo de impureza, ya que la existencia de éstas disminuirían la cantidad de portadores de carga al poderse recombinar con ellos.

El proceso de fabricación de una célula fotovoltaica consta de dos partes bien diferenciadas:

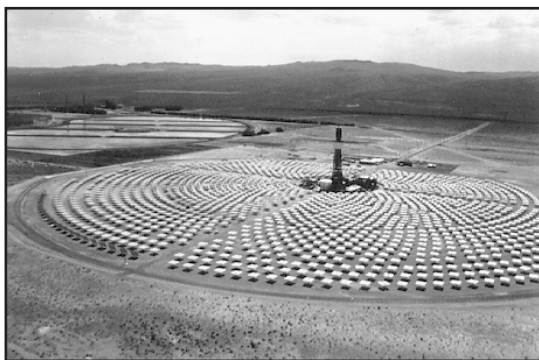
- 1.- Elaboración y purificación del semiconductor a utilizar, bien sea silicio, germanio, arseniuro de galio, etc.
- 2.- Fabricación de la propia célula fotovoltaica.

Esquemáticamente, el proceso de fabricación de una célula de silicio monocristalino es el siguiente:



La materia prima sería el sílice, que se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza, desde en rocas hasta en la arena. Extraeríamos el sílice por el método de reducción, obteniendo el llamado silicio metalúrgico, con un grado de purificación del 98%. Al no ser suficiente este grado de purificación, se vuelve a purificar hasta llegar al llamado silicio grado semiconductor, con una pureza del 99,999%.

Cuando ya tenemos el material adecuado empezamos la fabricación, propiamente dicha, de la célula fotovoltaica. Se introduce el silicio en un crisol con impurezas de boro, formando una masa fundida que alcanza una temperatura de unos  $1.400^{\circ}$ . A esta temperatura, el material se encuentra en estado líquido. Se dispone de una varilla en cuyo extremo se sitúa un germen de silicio que hace que comience el proceso de solidificación al ponerse en contacto con la masa. Este método se denomina **método Szchralzsky**. Una vez obtenido el cilindro de silicio monocristalino, se corta en delgadas obleas, de unos 0,3 milímetros. La capa superficial se restaura del corte mediante baños químicos y, posteriormente, la oblea se introduce en hornos especiales que alcanzan entre  $800^{\circ}$  y  $1.000^{\circ}\text{C}$  y que contienen una atmósfera rica en fósforo. Ahí, el fósforo se va difundiendo en la cara que se quiere dopar y forma así la unión P-N. A continuación dotamos a la oblea de una capa



Central Solar en EE.UU. (Cortesía Sandia Laboratories, cedida por Tomás de la Cal)

antirreflectante para un mayor aprovechamiento de la radiación solar, así como de los contactos óhmicos para poder conectar la oblea fotovoltaica y, para finalizar, se comprueba y se miden las características eléctricas (respuesta I-V), así como las características espectrales de la célula solar fabricada.

Las células solares de silicio monocristalino están basadas en la unión del silicio, u homounión, en contraposición a otros tipos de células solares, como el arseniuro de galio o heterounión. Las células solares de arseniuro de galio están basadas en las heterouniones con compuestos ternarios debido al buen acoplamiento de sus redes cristalinas y mejorando así el rendimiento de las células de silicio. Existen otros materiales monocristalinos con los cuales se han fabricado células solares, como el sulfuro de cadmio, el telurio de cadmio, sulfuro de cobre, fosfuro de indio, óxido de estaño e indio.

Debido al alto coste de la fabricación de este tipo de materiales, a pesar de que mejoren el rendimiento del silicio, se empezaron a estudiar las células fotovoltaicas policristalinas, con rendimiento inferior a las células monocristalinas pero considerablemente más baratas. En la década de los sesenta se empezaron a tomar en consideración en la Física del Estado Sólido los materiales amorfos, principalmente el silicio, el único empleado hasta la fecha en esta forma para la utilización en células fotovoltaicas. Una de las características más comunes en los sólidos amorfos es el gran número de estados o impurezas en la banda prohibida que aumentan así su rendimiento en la absorción de la luz, es decir, el aumento considerable de su coeficiente de absorción; sin embargo, para poder absorber una cierta cantidad de radiación luminosa, es necesario que el espesor de la muestra de silicio monocristalino sea de 100 micras, mientras que el silicio amorfo sólo necesita un espesor de 1 micra. Consideramos además el hecho de que la tecnología de producción es muy barata; por todo esto, en 1986 el silicio amorfo había desplazado al silicio cristalino.

Conocida la tecnología de las células fotovoltaicas sólo nos queda mejorar su rendimiento, con nuevos materiales o nuevas técnicas. Esto lo llevó a cabo un español, que aprovechó no sólo la radiación procedente del sol, sino también la que era reflejada por la superficie terrestre o albedo, creando así las células bifaciales.

La tecnología de estas células está basada en una doble unión, normalmente N-P-P<sup>+</sup>. El problema de este tipo de células es su elevado coste de producción a causa de su específica fabricación. Para poder conocer bien el funcionamiento de una célula fotovoltaica tenemos que tener en cuenta dos observaciones experimentales:

1.- La tensión en los extremos de una unión P-N varía en función de la temperatura. A una determinada temperatura, la tensión es constante, determinada por la característica eléctrica de la célula solar (o curva intensidad voltaje). La variación en función de la temperatura es de  $-2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ; esto es debido a que en la curva intensidad voltaje, la tensión disminuye al crecer la temperatura, mientras que la intensidad aumenta; pero la potencia eléctrica disminuye porque la disminución de la tensión en función de la temperatura es mayor que el aumento de la intensidad en función de la temperatura.

2.- La intensidad eléctrica suministrada por una célula fotovoltaica a un circuito exterior es directamente proporcional a la intensidad de radiación y a la superficie de la célula.

### **Módulo o Panel Fotovoltaico**

La intensidad eléctrica suministrada por una célula es proporcional a su superficie; como la superficie de las células es pequeña, tendremos que unirla para poder obtener mayor corriente o tensión. La unión de las células con el soporte estructural adecuado es lo que denominamos **módulo o panel fotovoltaico**. Normalmente se fabrican de tal forma que podemos obtener una tensión de 6,12,24 voltios y una potencia entre 3 y 45 watios. Estos



*Quiosco con panel solar en el Paseo de la Habana, 74, Madrid*

valores son estándar y tendremos que estudiar las características que nos dé el fabricante del panel fotovoltaico.

La forma y estructura de los módulos fotovoltaicos son muy variables y dependen del fabricante. Las células fotovoltaicas se conectan en serie para conseguir la tensión deseada; una vez conseguida la tensión deseada, se colocan en paralelo para obtener la intensidad eléctrica adecuada a fin de obtener la potencia eléctrica que queremos. Una vez realizadas las conexiones, las células y sus conexiones se encuentran protegidos por unas **cápsulas** que suelen ser de silicona y otros materiales. Para proteger las cápsulas de los agentes atmosféricos y una interacción directa, colocamos un cristal denominada **cubierta exterior**. Para poder proteger a las células de la humedad del suelo o superficie donde se encuentre adherido el panel, existe una capa de silicona o telar que es menos

absorbente que ésta para evitar de este modo la corrosión de los contactos óhmicos y de las células. A esta protección se denomina cubierta posterior. Toda esta estructura está recubierta de un **marco soporte** que nos permite insertar esta estructura en otra para poder unir más paneles entre sí y fijarlos al suelo o lugar donde se vayan a colocar. Además, tendremos los **contactos eléctricos** que nos permiten conectar eléctricamente los paneles entre sí o conectarlos a cualquier aparato eléctrico.

### **Instalación de Paneles o Módulos Fotovoltáicos**

El aprovechamiento eléctrico de los paneles fotovoltáicos es similar al de las células fotovoltáicas; en paralelo aumentan el amperaje y en serie la tensión. Si los colocamos en serie-paralelo, aumentarán la tensión y la intensidad eléctrica según las necesidades de nuestra instalación. Las estructuras soportes proporcionan el anclaje sólido del panel donde éste se quiera ubicar, el suelo, un poste, una pared o el tejado de una casa o un edificio. El panel siempre tiene que estar libre de cualquier tipo de sombras para que le llegue la máxima radiación electromagnética y obtengamos el máximo aprovechamiento de la radiación electromagnética. La atmósfera protege la vida en nuestro planeta y, en consecuencia, es un obstáculo para que podamos aprovechar toda la energía que nos llega del Sol por unidad de superficie (conocida como constante solar e igual a  $1.353 \text{ W/m}^2$ ). El máximo que podemos aprovechar, una vez atravesada la atmósfera, es de unos  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Esta energía que aprovechamos no sólo es aquella que viene directamente del Sol, denominada **radiación directa**, sino aquella que cambia sucesivamente de dirección al ser reflejada en las diferentes capas atmosféricas, denominada **radiación difusa**. En un día despejado, una medida que define la distancia que recorre la radiación a través de la atmósfera es la **masa de aire AM (Air Mass)**, que es cero antes de entrar en la atmósfera (AM0). Si la radiación no sufre ninguna desviación es AM1; así tendremos una masa de aire



*Teléfono de carretera alimentado por energía solar. (Cortesía Embajada Británica)*

superior a 1 según el ángulo de incidencia de la radiación, ya que la masa de aire es inversamente proporcional al coseno del ángulo de incidencia. Normalmente todas las mediciones de radiación se toman respecto a AM1. Tendremos que tener cuidado cuando consultemos cualquier tabla de radiación. La radiación que llega a la superficie terrestre es, en su gran mayoría, radiación directa. Sin embargo, en un día nublado, la radiación que recibimos es radiación difusa, que supone aproximadamente un tercio de la radiación total que recibimos a lo largo de todo un año. Para poder aprovechar el máximo de la radiación que nos llega a la superficie terrestre, tendremos que colocar la superficie captadora de energía en tal posición que se encuentre perpendicular al Sol, es decir, en una posición AM1. Esto depende de dónde nos encontremos situados en la superficie terrestre; cuanto más separados del ecuador, mayor será la desviación con la cual lleguen los rayos solares. En

*Lanchas de propulsión solar surcarán los mares (Cortesía Inter Naciones e. V., cedida por la Embajada Alemana)*



consecuencia, tendremos que orientar e inclinar adecuadamente los paneles fotovoltaicos. Quienes quieran colocar paneles fotovoltaicos en el hemisferio norte, tendrán que orientarlos hacia el sur y aquellos que se encuentren en el hemisferio sur, tendrán que orientarlos hacia el norte. Podemos medir la radiación solar que llega a cada latitud e incluso existen tablas que podemos consultar y en las cuales podemos obtener estos valores para poder realizar los cálculos necesarios.

### **Instalaciones Fotovoltaicas**

Se considera una buena instalación fotovoltaica aquella que se encuentra perfectamente dimensionada y que nunca se encontrará con deficiencias de suministro eléctrico por parte de los paneles fotovoltaicos y demás accesorios de la instalación. Para



*Estación de servicio de energía solar. Las células solares en el tejado transforman la luz solar en corriente, que a continuación pasa a los surtidores para alimentar automóviles eléctricos. (cortesía Inter Naciones e.V. , cedida por la Embajada Alemana)*

lograr esto tenemos que saber las necesidades energéticas que va a necesitar la instalación para poder calcular así, el número adecuado de paneles fotovoltaicos necesarios para dicha instalación. Nunca se debe colocar ninguna instalación sin haber realizado y comprobado estos cálculos, ya que si no se han realizado llevará a un total fracaso de la instalación y, en consecuencia, una desacreditación injusta de este método de obtener electricidad; en un caso así, el fracaso no sería del método, sino del proyectista instalador que ha realizado la instalación.

Una vez que hemos transformado la energía solar en energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos, tenemos que pensar en cómo guardar esta energía para aquellos momentos en que la energía que obtenemos no es la suficiente, ya que las condiciones meteorológicas pueden ser adversas o porque no podemos obtener energía, por ejemplo en las horas de oscuridad nocturnas. Los **acumuladores** son los dispositivos capaces de almacenar la energía eléctrica que no estamos utilizando en un momento dado en energía química, que posteriormente podremos transformar en eléctrica. En consecuencia, su misión es imprescindible en cual-



quier instalación fotovoltaica, ya que son los encargados de suministrar energía eléctrica para que no falte en el sistema en ningún momento. Están constituidos principalmente por dos electrodos sumergidos en un líquido denominado **electrolito**, en el cual se producen las reacciones químicas. No todos los acumuladores son iguales; los más conocidos son los acumuladores o las baterías de los automóviles, que requieren una potencia inicial muy elevada para poderse comunicar al motor de arranque y poder poner en funcionamiento el vehículo; deben ser capaces de suministrar una fuerte descarga durante un período de tiempo corto. Sin embargo, los acumuladores empleados en las instalaciones fotovoltaicas deben ser capaces de suministrar pequeñas descargas durante un largo período de tiempo. Esto se traduce en que las baterías para instalaciones fotovoltaicas deben estar diseñadas de tal forma que sean capaces de adaptarse a las condiciones de estas instalaciones. Deben estar capacitadas para aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel fotovoltaico, deben tener un mantenimiento prácticamente nulo y ser de fácil transporte, tienen que tener una baja autodescarga, un rendimiento elevado y una vida larga. Para las instalaciones fotovoltaicas podemos encontrar baterías que tengan alguno de sus electrodos de plomo; se les denomina **acumuladores de plomo-ácido** y las hay de dos tipos: las *baterías de descarga superficial*, cuya descarga oscila entre un 10 y 15% (un ejemplo típico son las baterías de plomo-calcio, que presentan la peculiaridad de no necesitar mantenimiento), y las *baterías de descarga profunda*, que son aquellas que sin deteriorarse pueden alcanzar un nivel de descarga de un 80%, como las baterías de plomo-antimonio. Otro tipo de baterías empleadas en las instalaciones fotovoltaicas son aquellas cuyos electrodos son de óxido de níquel y de óxido de cadmio, denominadas **baterías de níquel-cadmio**. Las diferencias fundamentales entre las baterías de plomo y las de níquel-cadmio son que éstas últimas tienen una resistencia interna más baja, por lo que pueden estar sometidas a descargas

más elevadas. La tensión, por elemento de descarga es más estable y tienen una vida más larga y pueden aguantar temperaturas más bajas. En contraposición, son más caras que las de plomo.

La vida de una batería es el número de veces que puede producir una carga-descarga. Se mide en ciclos y depende del espesor de las placas, de la concentración del electrolito, pero, principalmente, de la profundidad de descarga de la batería, que es el grado de consumo energético que sufre el acumulador en una descarga. Su valor se expresa en tanto por ciento. En función de estas características, se están realizando hoy en día numerosos estudios para optimizar el rendimiento y mejorar las baterías en las instalaciones fotovoltaicas. Una vez seleccionada la batería que se va a utilizar en la instalación fotovoltaica, debemos calcular adecuadamente el número de batería que necesitamos según las condiciones que el diseñador haya dispuesto, para lo que habrá tenido en cuenta: la tensión de funcionamiento, el número de días de autonomía, la descarga máxima al final de los días de autonomía, la temperatura media de funcionamiento, la temperatura mínima, los días consecutivos en los que se pueden producir bajas temperaturas, la facilidad de acceso de montaje y mantenimiento de las baterías en la instalación, así como el **regulador** utilizado. Este dispositivo es el que determina la entrada de electricidad en las baterías procedente de los paneles fotovoltaicos para la conservación de éstas. Los módulos proporcionan más electricidad de la que los acumuladores pueden conservar. Para poder cargar adecuadamente los acumuladores, teniendo en cuenta todas las pérdidas, siempre llega más electricidad a la batería que la que puede acumular. Existen dos tipos de reguladores:

- **shunt o paralelo**; son aquéllos que se colocan en paralelo entre los paneles y las baterías, detectando así la tensión en bornes de las baterías. Cuando detecta la tensión prefijada en las baterías crea un camino alternativo de baja resistencia evitando así que se siga cargando la batería.

- **serie**; son aquellos que desconectan las baterías cuando éstas alcanzan el estado de máxima carga.

Los reguladores son necesarios si los paneles fotovoltaicos no son autorregulados. Ciertos paneles fotovoltaicos son capaces de cargar las baterías y cuando estas llegan al 90% de su estado de máxima carga, hacen que la intensidad generada en el panel sea mínima, llegando a ser nula cuando las baterías se encuentra al máximo de carga.

Los elementos comentados hasta el momento son los imprescindibles en cualquier instalación fotovoltaica; además de éstos, la instalación puede disponer de **sistemas electrónicos de control y medida**, principalmente en la producción de electricidad de los paneles y en el estado de carga de las baterías, con alarmas luminosas o acústicas que nos avisan del defectuoso funcionamiento de la instalación. En el caso de que la instalación se encuentre en lugares desatendidos, los sistemas de control son diferentes; no existen alarmas, ya que nadie las podría detectar. Estos sistemas de control se utilizan principalmente para evitar que las baterías se sobrecarguen, diseñándose de tal forma que el propio sistema electrónico de control, interrumpa momentáneamente la carga de la batería durante el tiempo en el cual la tensión de la batería es la misma que la tensión prefijada en el sistema de control. Una ventaja de algunas instalaciones es que hayan sido diseñadas para que actúen de forma automática, como en el alumbrado de las calles de pueblos que no dispongan de suministro eléctrico o en las que la instalación fotovoltaica sirva como sistema de emergencia. En estas instalaciones existen **fotocélulas** que activan el encendido de la farola; cuando la iluminación solar desaparece o se hace mínima, la iluminación de estas instalaciones debe ser de corriente continua. Si no es así, tendrán que tener un **convertidor** de corriente continua a corriente alterna. Los convertidores también pueden ser de corriente continua a continua, para aquellos que quieren elevar o disminuir la tensión de la instalación, ya

que la tensión que necesitamos es diferente a la obtenida. En las centrales fotovoltaicas, además de un complejo sistema de **control informático**, un accesorio importante son los **concentradores**, dispositivos ópticos que dirigen la luz solar a los paneles fotovoltaicos o que hacen que los paneles fotovoltaicos puedan orientarse hacia el Sol de tal forma que su aprovechamiento sea máximo. Los concentradores también se utilizan en aquellas instalaciones a las cuales la luz solar llega con dificultad.

La optimización de una instalación fotovoltaica es, sin duda, el objetivo de cualquier proyectista de instalaciones fotovoltaicas. El cálculo del número de módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores y demás accesorios de la instalación se puede realizar de formas diversas, pero todos estos métodos, si son eficaces, deben estar diseñados cumpliendo el principio energético: **sólo puedo gastar la energía que tengo**. Por lo tanto, los cálculos se realizan en función de la demanda energética diaria y de la radiación solar, cantidad de energía recibida del Sol, del lugar donde se vaya a ubicar la instalación.

Los valores de radiación solar se pueden medir u obtener en los libros de tablas; por ejemplo, en España el Ministerio de Industria y Energía ha publicado un libro con el título *Radiación Solar sobre Superficies Inclinadas*, donde se pueden consultar estos valores.

## **Futuro de la Energía Fotovoltaica**

El aprovechamiento energético del Sol en forma de electricidad es cada vez mayor. El único problema que tiene es la inversión inicial a la hora de construir una instalación fotovoltaica a gran escala.

**¿Hasta qué punto son rentables?** Las centrales fotovoltaicas poseen un tiempo de amortización durante el cual, los beneficios amortizan la inversión realizada. Una vez sufragados todos los gastos, la energía es gratis. En pequeñas instalaciones

el capital se empieza amortizar enseguida, y a partir de un año, o a lo sumo dos, la energía es gratis.

**¿La construcción de una central fotovoltaica repercute desfavorablemente en el medio ambiente?** La construcción de este tipo de instalaciones modifican las condiciones medioambientales del lugar, ya que se construye donde anteriormente la vegetación y la fauna autóctona habitaban. Una vez construida la central, cierto tipo de fauna se ve dañada, principalmente las aves, que se quedan ciegas por el reflejo de los concentradores. En pequeñas instalaciones, este problema no existe y el impacto medioambiental es mínimo.

**¿En qué país se está utilizando la energía fotovoltaica?** La energía fotovoltaica se utiliza en los países ricos, ya que son los que se encuentran más concienciados en la protección del medioambiente y poseen recursos económicos para poder invertir en nuevas tecnologías que les proporcionen una mayor independencia energética.

**¿Cuando y por quién se empezó a desarrollar ésta fuente energética?** En 1955 los laboratorios de la Bell Telephone, en EE.UU., realizaron la primera prueba al alimentar un repetidor telefónico en Georgia con energía fotovoltaica. Su desarrollo, sin embargo, se debió al éxito en la alimentación de sistemas electrónicos de los satélites artificiales. Esta técnica se probó por primera vez a nivel espacial en el satélite Vanguard I, en 1958; su transmisor de radio estaba alimentado por células silicio.



## 7

### EL SOL, FUENTE CALORÍFICA

Durante el verano nos protegemos de los rayos solares. Una exposición continuada provoca en la piel una deshidratación, al evaporar el Sol el agua que tenemos. Además se produce lo comúnmente conocido como «quemaduras». Si estudiamos este proceso desde un prisma puramente físico, observamos que el Sol calienta todo material con una exposición continuada. Según de qué material se trate, sufrirá mayor o menor deterioro; los lagartos, por ejemplo, se dan baños de Sol continuado y sin embargo no sufren el deterioro que sufrimos los hombres.

La utilización por el hombre de este poder calorífico del Sol se remonta a las antiguas civilizaciones. En muchas se adoraba al Sol y se le otorgaba la categoría de dios. Es difícil saber en qué lugar y en qué momento se empezó a utilizar la fuerza calorífica del Sol. Hace más de 3.000 años, el faraón **Amernhopet III** calentaba el aire que circulaba por unas estatuas huecas expuestas al Sol; de este modo, producían sonidos y el pueblo, desconocedor de lo que sucedía y considerando al faraón como un dios viviente, creía que estos sonidos eran conversaciones que tenía el dios viviente con los demás dioses. En fechas similares a este suceso, el pueblo de **Israel** utilizó el poder calórico-luminoso del Sol para cegar, utilizando sus escudos como superficies reflectantes, a sus enemigos

a la hora de la batalla y obteniendo así la victoria. La diferencia de este pueblo con el egipcio es que ellos no consideraban al Sol como dios. Nos encontramos que desde la antigüedad comienza a existir una confrontación entre el aspecto técnico-científico y el carácter religioso de un mismo suceso al ser estudiado por diferentes culturas. La siguiente notificación que poseemos de la utilización del calor del Sol se remonta alrededor del siglo X antes de Cristo, cuando el historiador **Plutarco** comenta en unos de sus documentos la utilización por las **vírgenes vestales** de la fuerza del Sol. Estas sacerdotisas encendían hogueras en los rituales del fuego a distancia, empleando como utensilio concentrador una especie de conos metálicos. En esta época se comenta la posibilidad de la utilización del Sol en la destilación de productos agrícolas. Sin embargo el hecho más destacable y conocido por la inmensa mayoría es la defensa que realizó **Arquímedes**, en el año 212 a.de C., ante el asedio del ejército romano. Arquímedes, con la ayuda de **Galeno**, otro físico y médico de la época, empleó unos espejos planos orientados adecuadamente y con los cuales hacían incidir y aumentar el poder calorífico del Sol sobre los barcos romanos, bien fuera en las velas o en el casco, que al ser de madera ardía con facilidad.

Nos hemos referido a citas bibliográficas del mundo mediterráneo, al ser éste en el que nos encontramos y del que tenemos datos escritos. Sin embargo, no descartamos la posibilidad de que en otras culturas y en otros lugares de nuestro planeta se conociera y dominara esta técnica. Durante el Imperio Romano, las técnicas utilizadas fueron aquellas asimiladas de otros pueblos que conquistaron, como los griegos; por lo tanto, no existió un avance en este tema. Hasta el siglo XV, la única referencia que tenemos es de algunos cantares en los cuales se hace referencia a dejar secar la ropa al Sol.

El primer mecanismo de energía solar del cual se tiene constancia fue diseñado y construido por **Salomón de Caux** en el

siglo XVII. Fue el primer *surtidor de agua accionado por energía solar*; en un recipiente herméticamente cerrado se introducía agua hasta ocupar una cierta cantidad del volumen total del recipiente. Mediante una lentes se concentraba el calor solar en las paredes del recipiente, elevando la temperatura en el interior de éste y dilatando así el aire en el interior, lo que hacía subir el agua por un conducto abierto en el extremo superior y servía como una fuente decorativa y como fuente de calor. Más que calefacción era un dispositivo de acondicionamiento de la vivienda, ya que no producía el calor suficiente como para considerarlo un sistema de calefacción. A mediados de este siglo el físico **Atanasio Kircher** vuelve a conseguir encender a distancia madera. A finales de siglo, el físico **Enhrenfried Walter Von Tschirnhaus** logra *fundir materiales cerámicos*. Ambos experimentos se fundamentan en concentración de los rayos solares mediante espejos y lentes. En el siglo XVIII, siguiendo las directrices del siglo anterior, **George Luis Leclerc Buffon** realiza una serie de *hornos solares*, uno de los cuales consta de 360 espejos que concentran su poderío energético. **Claude Poillet** contemporáneo de Buffon, fue el primero interesado en medir la intensidad de la radiación solar, consiguiendo la primera medición de esta magnitud aunque los resultados que obtuvo fueron muy puntuales. Durante este siglo varios químicos utilizaron los conocimientos anteriormente mencionados para realizar experimentos químicos de gran relevancia, como la síntesis del oxígeno que realizó **Joseph Priestly**, que supuso el primer paso para llegar a la conclusión de que el aire es una mezcla, y no una sustancia simple. Las últimas construcciones de sistemas solares de este siglo fueron iniciadas por el naturalista suizo **Saussure**, que construyó una *cocina solar* a la cual la bautizó con el nombre de *caja caliente*. Estaba constituida por una caja cuyas paredes interiores estaban ennegrecidas; la superficie superior era de cristales transparentes y las paredes, por el exterior, estaban protegidas con un aislante térmico, llegando de este modo a obtener una tempera-



tura cercana a los 160°C. Una variante de esta cocina fue utilizada en la expedición al Cabo de Buena Esperanza durante la primera mitad del siglo XIX; era una vasija enterrada en arena, que funcionaba como aislante térmico. Su interior estaba pintado de negro y utilizaba un doble cristal como tapadera. Las temperaturas que alcanzaba rondaban los 115°C. En la segunda mitad del siglo XIX fue el físico **Augustin Mouchot**, quien se dedicó a estudiar y a desarrollar los concentradores solares no planos, basándose en la reflexión de la luz en superficies no planas. Su mayor logro fue el *concentrador cónico axial*, capaz de concentrar los rayos luminosos del Sol en una línea focal coincidente con el eje del concentrador. Su ingenio llegó a ser tal que desarrolló varias máquinas que seguían el movimiento solar al cabo del día y servían para calentar agua contenida en tanques que una vez convertida en vapor, se usaba para mover dispositivos tales como la *prensa tipográfica* que se instaló en los jardines de las Tullerías de París en 1892. Tenemos que resaltar la figura de **Augustin Mouchot**, al ser el primer científico que estudió exhaustivamente las posibilidades de la energía solar como fuente calorífica, plasmando sus resultados en su libro *el calor solar y sus aplicaciones industriales*, publicado en 1879. Este libro supuso el primer documento científico en el cual se reflejan las posibilidades energéticas de la energía solar y su utilización a finales del siglo pasado. Simultáneamente a los estudios de Mouchot se realizaron otros proyectos de embergadura; no podemos olvidar la *planta desalinizadora* instalada en una mina de nitrato al norte de Chile en 1872, diseñada por el ingeniero **Charles Wilson-Sobre** en una superficie de unos 4.750 m<sup>2</sup>. El fundamento básico de esta instalación residía en la evaporación que sufría el agua salada concentrada en un estanque acristalado. El agua se evaporaba y mediante una corriente de aire que se hacía circular entre el cristal y la superficie de agua salada se desplazaba el vapor de agua y se condensaba. Una vez en estado líquido precipitaba sobre una canalización que hacía posible su utilización como agua potable

en la mina. Funcionó correctamente durante el tiempo que duró la explotación de la mina de nitrato, aproximadamente unos 40 años. Una vez cerrada la mina se dejó de utilizar, no porque se estropease o por su deterioro, sino porque ya no era necesaria su utilización. **William Adams** publicó un libro en 1878 en el cual exponía el diseño y la planificación de una *bomba hidráulica* que instaló en Bombay, lugar donde se encontraba destinado, así como diversas construcciones de cocinas solares. El científico **Samuel Pierpont Langley** concentró sus estudios principalmente en la intensidad de la radiación solar, así como en la relación de esta magnitud con el clima y la ubicación. Estos estudios le llevaron a construir un *bolómetro*, aparato que utilizó para medir la intensidad de la radiación solar y su espectro. En su honor, la unidad de medida de la intensidad de radiación lleva su nombre, «**el Langly**». Durante este último cuarto del siglo XIX, la técnica y el conocimiento de la energía solar experimentó un importante avance, aunque siempre de manera individual y aislada. Los científicos de estos siglos marcaron las directrices por las cuales debemos seguir el estudio, como los concentradores planos o parabólicos, las superficies cristalizadas y los interiores negros.

En el siglo XX empiezan a realizar programas de investigación con el fin de unir todos los esfuerzos para el desarrollo de esta nueva disciplina científica. En la primera década de este siglo los científicos **E.H.McHenry** y **E.C.Ketcham** desarrollan un dispositivo utilizando dos fluidos.

Simultáneamente, **H.E.Willsie** y **John Boyle Jr.** utilizan colectores planos en cuyo interior circula agua transportando, de esta manera, el calor a un acumulador para su posterior utilización. Aparece así el concepto de *líquido caloportador*.

Durante la segunda década de este siglo se siguieron perfeccionado los dispositivos y sistemas de energía solar. Sin embargo, el gran «boom» coincide con la Gran Depresión, al intentar por todos los medios encontrar una fuente energética gratuita. La

aparición del gas natural, empero, relega a la energía solar a un segundo plano.

En los años 30 la tecnología de la instalaciones de energía solar para la producción de agua caliente sanitaria se encuentra totalmente desarrollada. A finales de los 30 se construyen las primeras casas de energía solar. Una vez terminada la Segunda Guerra Mundial, se siguen desarrollando las técnicas de aprovechamiento de la energía solar para la obtención de agua caliente sanitaria, así como el mejor aprovechamiento de las condiciones medioambientales en beneficio de una mejora en la calidad de la vivienda. Todas estas líneas de investigación e inversión se debatieron en 1955 en el Simposio Mundial de la Aplicación de la Energía Solar, celebrado en Phoenix (Arizona).

Una nueva crisis económica hace resurgir las viejas ideas de la energía solar. Esta vez es la crisis del petróleo de 1973. A diferencia de las anteriores situaciones, en esta ocasión las investigaciones sobre el aprovechamiento energético del Sol no sufren un estancamiento, sino todo lo contrario, siguen su curso e incluso en aumento. La mentalidad energética y medioambiental se encuentra inmersa en una profunda transformación, al ser en estos momentos cuando empieza a prevalecer el bienestar y no la producción; se invierte en instalaciones de energías alternativas y se va abandonando progresivamente la energía utilizada a partir de la Segunda Guerra Mundial, la energía nuclear. Una nueva amenaza en las economías de occidente, la invasión de Kuwait, hace resurgir la ideas de la utilización de las energías alternativas y, sobre todo, el aprovechamiento solar.

En la actualidad la directrices energéticas de los países industrializados se encuentran en una nueva etapa, fundamentada en el aprovechamiento energético de nuestros propios recursos naturales, siendo el mayor recurso energético, el más limpio y el menos contaminante la energía procedente del Sol. Simultáneamente, los países más pobres ven en este tipo de energías,

sobre todo en la energía solar, una solución a su precaria situación energética.

## Colector Solar

El **colector solar** es el elemento fundamental para el aprovechamiento térmico de la energía solar, al ser el encargado de transformar la energía solar en energía calorífica. En el diseño de un buen colector solar hay que tener en cuenta que las pérdidas energéticas deben ser mínimas para aumentar así su rendimiento energético. Esto se consigue utilizando la *técnica del efecto invernadero*. La radiación electromagnética que incide sobre cualquier cuerpo, sea dicho cuerpo un colector, es absorbida en parte y en parte es reflejada. Otro porcentaje de esta radiación le atraviesa. Las proporciones en las cuales ocurren estos efectos dependen de la naturaleza del cuerpo, del estado de la superficie, del espesor del cuerpo, de la radiación incidente y del ángulo de incidencia. La superficie del colector debe estar constituida por un material que deje pasar la totalidad de la radiación solar que le llega, por ejemplo el vidrio. Sin embargo, la parte interior de la cubeta debe reflejar la energía que le llega de las posibles reflexiones internas, volviendo a dirigir esta energía hacia el interior del colector. A este efecto se le conoce con el nombre de efecto invernadero. Debe existir un espacio para que pueda circular el **líquido caloportador**, que es calentado por la radiación que atraviesa la cubierta, la reflejada por la parte interior de la cubierta y por las paredes laterales. La parte inferior del colector debe constar de una **placa absorbadora de la radiación** y debido a la radiación que le llega una vez que ha atravesado el fluido, así como a la radiación reflejada, se convierte en un foco de calor que calienta al líquido caloportador que se encuentra por encima de la placa. Las paredes laterales deben ser de un material con un alto poder de reflexión para que dirijan la radiación hacia la placa absorbadora. Todo este equipamiento debe encontrarse perfectamente aislado para que las pérdidas

sean mínimas. Para aumentar la energía que llega al colector, se diseñan **sistemas de concentración de la radiación luminosa**. Los componentes principales de un colector son: el absorbedor, el líquido caloportador, el aislamiento térmico, la carcasa y, por último, el sistema de anclaje. El **absorbedor** es el encargado de recibir la radiación solar y transformarla en calor y transmitirla al **fluido caloportador**. Existen diversos modelos, pero los absorbedores que nos encontraremos con mayor frecuencia son aquellos formados por dos placas metálicas con una pequeña separación entre ellas, por la cual circula el líquido caloportador, o bien aquellas formadas por una placa metálica sobre la cual se encuentra el sistema de circulación del líquido caloportador. Se ha experimentado con multitud de líquidos que podemos resumir en cuatro tipos de fluido caloportador: agua natural, agua con anticongelante, líquidos sintéticos o derivados del petróleo y



*Paneles fototérmicos en las Instalaciones Deportivas «Chamartín», Plaza del Perú, Madrid.*

aceites de silicona. Normalmente se utiliza el agua o agua con anticongelante para evitar que se solidifique y se rompan así las canalizaciones del fluido. Un buen **aislamiento** es imprescindible para no perder el calor obtenido de la radiación solar. La **carcasa** protege los elementos anteriormente citados y sirve para poder ajustar adecuadamente el **sistema de anclaje** del colector.

Los colectores deben encontrarse bien sujetos con el debido sistema de anclaje, así como con una estructura metálica capaz de soportar y de mantener adecuadamente orientado e inclinado el panel para poder obtener el mayor aprovechamiento de la energía que nos llega. Un problema que debemos evitar siempre a la hora de colocar los colectores son las sombras, bien sean de un elemento externo al conjunto de colectores o bien sea de un colector vecino.

### **Instalaciones Fototérmicas**

El transporte del calor mediante el fluido caloportador debe realizarse mediante **conducciones**, que en este caso son bien conocidas al ser las mismas que se utilizan en calefacciones y fontanería.

El cobre es un material que se ha venido utilizando en todo este tipo de instalaciones, tanto de calefacción como de fontanería o de instalaciones fototérmicas. Su gran utilización se debe a sus diversas ventajas, principalmente a su alta resistencia a la corrosión, así como a los agentes atmosféricos con los que se encuentra en contacto en su parte externa. Debemos resaltar que el cobre, al contacto con el agua, forma una fina capa de óxido que lo protege, la cual no debemos eliminar por motivos de estética. Respecto a este tema de la estética, tenemos que aprovechar la de la instalación y adaptarla al lugar donde se va a ubicar, o bien adaptar el lugar a la instalación, obteniendo así un bello panorama del lugar. La maleabilidad del cobre, así como su ductibilidad, hacen posible una fácil y cómoda manipulación. En grandes instalaciones, el

cobre no es rentable, ya que al utilizar diámetros superiores a 54 mm, el coste es muy elevado.

Otro material que se ha venido utilizando en las instalaciones fototérmicas es el acero, tanto galvanizado como negro. Estos no se pueden utilizar en conducciones con temperaturas superiores a los 65°C debido al deterioro de su protección de zinc. Al tener mayor espesor en sus paredes, el aislamiento debe ser mayor que en el cobre y por lo tanto encarece el coste de la instalación. Si a



*Colectores fototérmicos en una urbanización en Cannes, Francia (cortesía Thibaut-Explorer, cedida por la Embajada de Francia)*

esto le añadimos que tenemos que recubrirlo exteriormente con protectores antióxido y que es difícil de manejar, nos quedamos con el cobre. Sin embargo, para grandes instalaciones, es decir, instalaciones con diámetros superiores a 54 mm, todos estos inconvenientes que presenta el acero son preferibles ante el elevado coste del cobre.

El estudio de nuevos materiales para este tipo de conducciones ha hecho posible fusionar la ventajas de los materiales convencionales y eliminar sus desventajas, obteniendo así el polyvinyl choride, más conocido como PVC o cloruro de polivinilo. El PVC está sustituyendo a los materiales anteriormente comentados, por ser más barato, más fácil de manejar, aguantar altas temperaturas y presiones así como las bajas, poder adaptarse a las antiguas conducciones, etc. El único problema es que cuando se unen los tramos de PVC hay que hacerlo correctamente, ya que el pegamento utilizado en estas uniones es especial y no da posibilidades de error, una vez fijado no se puede desunir para modificar la posición y colocarlo en su posición correcta para evitar fugas.

Una vez que tenemos la manera de transportar el líquido caloportador, tenemos que ser capaces de almacenarlo. De esta forma, almacenaremos la energía que en él se transporta. El **sistema de almacenamiento** debe cumplimentar varios requisitos para que se pueda utilizar y sea el adecuado; debe disponer de una alta capacidad calorífica para conservar el mayor tiempo el calor. Con este fin, su interior debe disponer de un volumen reducido, la temperatura de utilización debe estar en concordancia con la temperatura necesitada para las diversas utilizaciones del calor y, además, debe estar siempre dispuesto para las necesidades y ser un sistema rápido para la demanda requerida. Su instalación no debe ser un estorbo en el recinto donde se coloque, sea éste un edificio, chalet, caserío, etc.

El método más eficaz de almacenar la energía hasta el momento, y que reúne todos los condicionamientos anteriormente



expuestos, es el almacenamiento de la energía mediante agua caliente; así, sólo necesitamos elegir un **depósito o tanque** adecuado para almacenar la energía. El material del tanque depende principalmente de la aplicación que se le quiera dar, lugar de la instalación, vida media calculada, facilidades de mantenimiento y, cómo no, «coste». La instalación fototérmica más sencilla sería aquella que estuviera formada por **los colectores, el acumulador, las conducciones, una válvula antirretorno y un vaso de expansión**. Estos elementos son de seguridad, para evitar que el fluido caloportador deteriore las conducciones. Esta instalación constaría de un sólo circuito; sin embargo, si deseamos que nuestra instalación conste de dos circuitos, debemos colocar un intercambiador. Las instalaciones fototérmicas con dos circuitos independientes, denominados circuito primario aquel en el cual se encuentran los colectores y circuito secundario a partir del intercambiador, se utilizan en aquellas instalaciones en las que el fluido caloportador no es el agua, sino una mezcla de agua con anticongelante u otro



*Otro ejemplo de paneles solares en Albuquerque, Nuevo México, EE.UU.*

líquido que disponga un punto de congelación inferior, evitando así riesgos de helada, incrustaciones en los colectores, corrosión en el circuito, sobrepresión, etc, o en aquellas instalaciones que se quiera limitar la cantidad de anticongelante. Con el PVC muchos de estos problemas se evitan, pero éste es un material no muy utilizado todavía en las instalaciones fototérmicas.

El **intercambiador** es imprescindible en aquellas instalaciones mixtas de calefacción por un sistema solar y un sistema de calefacción de aire forzado. No todo son ventajas; los inconvenientes que presenta el intercambiador son fundamentalmente una pérdida de rendimiento del sistema, una elevación del coste de la instalación y, además, hay que recurrir a un reglamento específico si el líquido primario no es agua potable.

El intercambiador utilizado en la instalación debe ser el apropiado, ni muy grande ni muy pequeño; tanto uno como otro son fuente de pérdidas de calor. Por su posición en la instalación, un intercambiador puede ser interior o exterior; por su construcción, puede ser de haz tubular, de placas, de serpentín helicoidal, o de doble envolvente. Según el régimen de funcionamiento, puede trabajar por circulación forzada por electrocirculadores o por termosifón.

El número de colectores, como el número de acumuladores necesarios en una instalación, deben ser calculados adecuadamente, así como los elementos necesarios en la distribución de las conducciones, los dispositivos de regulación, alarma, etc.

### **Futuro de la Energía Fototérmica**

El futuro de la energía fototérmica depende exclusivamente de la política desarrollada en cada país. La tecnología necesaria se encuentra totalmente desarrollada para ser utilizada, como se puede ver en algunas ciudades del sur de Estados Unidos, algunas comarcas del sur de Europa, así como algunos países nórdicos cuyas políticas energéticas y medioambientales así lo exigen.

**¿Hasta qué punto es rentable?** La energía fototérmica es el tipo de energía alternativa más utilizable por todos y la más rentable, ya que las instalaciones se rentabilizan en poco tiempo y en consecuencia no nos tenemos que preocupar nada más que de mantener la instalación, es decir, realizar una revisión anual.

**¿Quién puede disponer de una instalación fototérmica?** Toda aquella persona que pueda realizar una pequeña inversión en un sistema de calefacción, agua caliente, climatización, etc.

**¿Dónde se puede colocar este tipo de instalaciones?** En todo aquel lugar al que llegue la radiación solar y que no disponga de sombras que dificulten la llegada de la radiación. En Madrid existen numerosas instalaciones fototérmicas y aunque el nivel de contaminación de esta ciudad es elevado normalmente, estas instalaciones funcionan correctamente. Los suecos votaron en referéndum la no utilización de energía nuclear para principios del siglo XXI, por lo cual han diseñado un sistema fototérmico comunitario para poder abastecer simultáneamente a todo un municipio, y no debemos olvidar que la situación geográfica de Suecia no es la más favorable.



# 8

## EL APROVECHAMIENTO DEL VIENTO

Cualquier ser vivo de este planeta se ha encontrado en algún momento con el movimiento del aire conocido como **viento**. El viento aparece cuando la superficie terrestre es calentada de una forma desigual por la radiación solar incidente; este flujo hace que unos lugares se calienten más que otros, provocando una ascensión del aire caliente. El espacio que ha dejado libre este aire caliente es ocupado por aire de una zona vecina; al subir este aire que se ha calentado, se enfría y, por lo tanto, aumenta su densidad y desciende. Esta simple explicación sirve para aclarar la aparición del viento a nivel local, así como para la explicación del fenómeno en todo el planeta, aunque en este último caso tendríamos que tener en cuenta la rotación de la Tierra, la distribución de las nubes sobre la superficie terrestre, así como todas las causas de variación de temperatura y calentamiento de la superficie de nuestro planeta.

Podemos concretar que el viento es una masa de aire en movimiento; como toda masa que se desplaza, posee una energía cinética, que podemos aprovechar si la transformamos en otro tipo de energía, sea mecánica en barcos de vela, molinos de viento, o sea eléctrica en aerogeneradores eléctricos.

## La Energía Eólica a lo largo del Tiempo

Localizar el momento en el tiempo en el cual se empezó a utilizar la fuerza del viento y su aprovechamiento es imposible. Desconocemos el momento en el cual el hombre empezó a aprovechar el viento como fuerza y mover, así, un barco. Desde siempre se conoce esta *técnica de navegación* en los pueblos cercanos a la mar, desde la más remota antigüedad persa, pasando por los egipcios, los chinos, etc. Además, disponían de máquinas eólicas, principalmente molinos de viento. Diecisiete siglos a. de C., en **Babilonia**, utilizaron *molinos* para la obtención de agua y regar sus llanuras. Diversos sabios egipcios desarrollaron estudios sobre los molinos de viento. Durante la hegemonía griega y romana se realizaron grandes avances en el aprovechamiento de la energía eólica en la navegación, dejando a un lado su aprovechamiento de los molinos, ya que a los estudios sobre las máquinas eólicas no se les dio mucha importancia durante este período. En la Edad Media, por los continuos contactos con el mundo árabe (en España por la invasión de éstos y en el resto de Europa por la Cruzadas) se extendieron los conocimientos procedentes de Oriente. Gracias a los avances que desarrolló **Holanda** en las *máquinas eólicas* durante el siglo XIV, este país pudo utilizarlas para el drenaje de sus aguas. Famosos son los *gigantes de don Quijote*, simples molinos de viento existentes en La Mancha, lugar donde discurren las aventuras y desventuras del hidalgo don Quijote, escrito por Miguel de Cervantes a finales del siglo XVI. Durante el siglo XVII se realizan multitud de estudios sobre molinos de viento, culminando a principios del siglo XVIII con el famoso *molino de ocho palas* que mueve una bomba de pistón. Este molino fue proyectado por **Leopold Jacob** en 1724 y se le llamó «molino multipala». La instalación de este molino en el norte de América prolifera de tal manera que se le conoce con el nombre de molino americano; en todas las películas con imágenes de exteriores en el oeste americano podremos ver este tipo de molino. El estudio y desarrollo de



*Molinos de Viento en Campo de Criptana (cortesía Ana Carrasco)*

las máquinas eólicas continuó durante el siglo XVIII y XIX en los Países Bajos, los cuales disponían de unas condiciones geográficas muy favorables para el desarrollo de este tipo de tecnología. El siglo XX es el siglo del desarrollo tecnológico y, en consecuencia, del desarrollo y divulgación del aprovechamiento de la energía eólica. A principios de siglo, **Dinamarca** tenía instalada una red eólica de unos 200 Mw. Durante la década de los 30, Alemania realizó unos estudios para la utilización de la energía eólica, culminando en el **proyecto Honnef**, que consistía en un campo de torres de 300 metros de altura, cada una de las cuales produciría una media anual de unos 75 Mwh. La central fue destruida en una incursión aérea durante la II Guerra Mundial. **Heronemus** realizó un proyecto de gran envergadura para los Estados Unidos, con 14.000 centrales de energía eólica situada en Nueva Inglaterra, en las cuales tendrían que colocarse aerogeneradores de 113 metros

de alto y con 3 rotores de 73 metros de diámetro. Estos aerogeneradores producirían el 80% de la demanda eléctrica de los Estados Unidos. La antigua Unión Soviética instaló en 1931 una máquina eólica de 100Kw cerca del Mar Negro.

Después de la II Guerra Mundial se paralizaron la mayoría de las inversiones para la explotación de este tipo de energía a causa del abaratamiento del petróleo. Sin embargo, con la crisis del petróleo de la que ya hemos hablado varias veces, así como con el cambio en la filosofía respecto a la obtención de la energía, ha provocado un aumento de los estudios y proyectos en este tipo de energía.

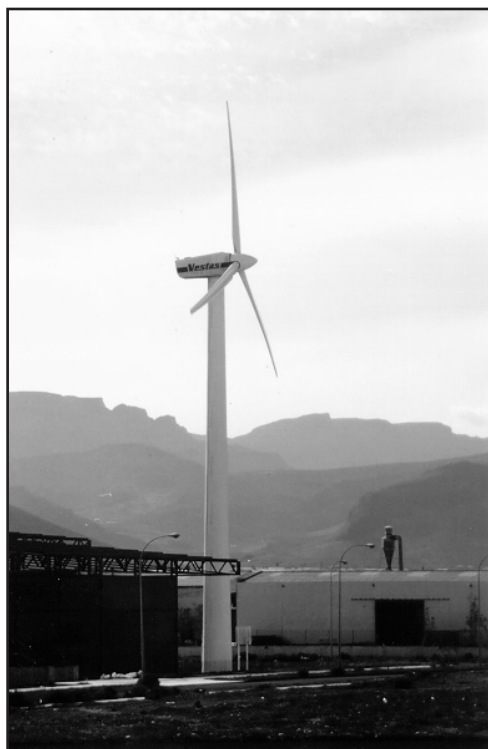
### **Fundamentos Físicos de la Energía Eólica**

Deseamos aprovechar la máxima energía de una máquina eólica al transformar la energía cinética del viento. El **teorema de Betz** nos da toda la información que necesitamos para conocer cuál es la máxima energía aprovechable por una máquina eólica. El viento es un fluido y como tal cumple las leyes fundamentales de los fluidos:

- 1.- La ecuación de continuidad;** el volumen de aire que atraviesa un área determinada es constante.
- 2.- El teorema de Euler;** la fuerza por unidad de tiempo es la variación de la cantidad de movimiento.
- 3.- La conservación de la energía,** que para fluidos es la **ecuación de Bernouilli**.

A partir de las leyes fundamentales de los fluidos expuestas anteriormente, además tendremos que tener en cuenta que la potencia es el producto de la fuerza por la velocidad de aire en movimiento y que la potencia absorbida por el aerogenerador es la variación de la energía cinética de la masa de aire que atraviesa la hélice en la unidad de tiempo.

No debemos olvidar tampoco la condición de máxima potencia. Realizados los cálculos, aplicamos el teorema de Betz, que



*Aerogenerador de tres hélices  
en Arinaga, Gran Canaria  
(cortesía Justino Díez)*

nos dice que la potencia máxima que podemos obtener es 0,37 veces el producto del área que barre la hélice al girar por el cubo de la velocidad del aire incidente en la hélice o en la turbina. Normalmente, los aerogeneradores no sobrepasan el 0,7 de la potencia máxima de Betz. Una vez conocida la potencia que podemos aprovechar, podemos dimensionar el **aerogenerador**, teniendo en cuenta qué tipo de máquina eólica, rápida o lenta, estamos diseñando.

### **Máquinas Eólicas**

Teniendo en cuenta la diversidad de estudios sobre las máquinas eólicas, así como su gran variedad, podemos clasificarlas en:



- 1.- Máquinas de eje horizontal.
- 2.- Máquinas de eje vertical.
- 3.- Máquinas de eje vertical y palas verticales, o sistema giromill.
- 4.- Máquinas horizontales con tobera o sistemas difusores.
- 5.- Sistema tipo tornado.

Las máquinas más desarrolladas en la actualidad, desde un punto de vista técnico y comercial, son las máquinas de eje horizontal. Podemos distinguir tres *tipos de máquinas de eje horizontal*:

**1.- El molino de viento clásico.** Distinguimos dos tipos: los molinos de viento de techo giratorio y los de caja giratoria. Era necesario que el molinero orientara las aspas. Para realizar esta labor tenía que estar siempre vigilante al cambio de viento para orientar las aspas contra él. El movimiento de las aspas se realizaba mediante animales o era el propio molinero quien movía las aspas.

**2.- Máquinas eólicas de eje horizontal rápidas.** El número de palas de este tipo de máquinas oscila entre 2 y 4, aunque existen máquinas con una sola pala. Sin embargo, éstas últimas presentan muchos problemas de fabricación y balanceo. Las máquinas rápidas necesitan vientos de 5 m/s para poder trabajar de manera estable. Las palas suelen fabricarse de madera, aluminio, fibra de vidrio. En la máquinas de pequeña potencia podemos distinguir tres tipos de dispositivo de orientación:

a.- Orientación por veleta.

b.- Orientación por conicidad.

c.- Orientación por revomotores.

**3.- Máquinas eólicas de eje horizontal lentas.** El número de pala oscila entre 12 y 24. El material de estas palas es chapa de metal curvada y su gran peso hace imposible fabricarlas con diámetros superiores a los 8 metros. Este tipo de máquinas son muy utilizadas en bombeo de agua de pozos. En vacío arrancan con vientos de 2 ó 3 m/s.

Las *máquinas de eje vertical* fueron desarrolladas en la década de los 20 por el ingeniero finlandés **Sigurd Savonius** al inventar la *aeroturbina Savonius*. Estaba formada por dos cilindros de igual diámetro, colocados de forma que sus ejes fueran paralelos al eje de giro y separados por una determinada distancia. A principios de la década de los 30, el científico francés **Darrius** desarrolló el *molino Darrius*, formado por palas con un perfil biconvexo que, unidas unas a otras, giran alrededor de un eje vertical. La principal característica de este tipo de máquina es que trabajan con cualquier tipo de viento, sin tener mayor importancia



*Molino multipala en Arinaga,  
Gran Canaria (cortesía  
Justino Díez)*

la dirección de la cual provenga. Por esta razón algunos científicos piensan que este tipo de máquinas se debería denominar *panne-mona*, palabra procedente del griego y que significa que trabaja con todos los vientos. Su funcionamiento se basa en la diferencia que existe entre la fuerza de arrastre ejercida sobre una superficie cóncava y la ejercida sobre una superficie convexa, cuya sección trasversal es la misma.

### **Conservación y Utilización de la Energía Eólica**

Una vez conseguida la transformación de la energía cinética del viento en energía utilizable por el hombre, nos queda cómo conservarla, proceso en el cual hoy en día se están invirtiendo muchas horas de investigación para poder obtener el máximo aprovechamiento *a posteriori*, ya que normalmente el viento no es constante durante mucho tiempo. En consecuencia, tenemos que conservar la energía que obtenemos de él.

Podemos dividir los **acumuladores** en acumuladores de energía y acumuladores de producto. Los **acumuladores de producto** son aquéllos que utilizan la energía eólica para la obtención del objetivo (del producto) para el cual está diseñado el sistema. Una vez conseguido el objetivo, es decir, el producto, es este mismo producto el que se almacena. El caso más clarificador es el de las instalaciones eólicas de bombeo, que tienen como objetivo la obtención o elevación del agua hasta niveles en los cuales podamos conservarla, sea mediante una utilización directa, en regadíos, o mediante una utilización indirecta, al provocar un salto de agua del cual obtendríamos energía eléctrica. Conservamos el producto, ya que una vez que elevamos el agua hasta el nivel deseado, colocamos tanques o depósitos de reserva en los cuales acumulamos el agua obtenida durante el tiempo en que actúa el aerogenerador. Una vez que éste cesa, el agua deja de subir hasta el acumulador y en el depósito de reserva queda acumulado todo aquel caudal que ha subido durante el funcionamiento del aerogenerador.



*Tecnología eólica escocesa (James Howden Group Limited), en California, EE.UU  
(cedida por la Embajada británica)*

Los **acumuladores de energía** son acumuladores electroquímicos, comúnmente conocidos como baterías (ya comentados en el capítulo de energía fotovoltaica). Una vez conservada la energía en baterías, los dispositivos utilizados en el aprovechamiento de esta energía eléctrica son los mismos que comentamos en el capítulo de energía fotovoltaica, por lo que aconsejamos al lector que consulte el apartado de dicho capítulo.

### **Futuro de la Energía Eólica**

El futuro de la energía eólica depende exclusivamente de la política desarrollada en cada país. La tecnología necesaria se encuentra totalmente desarrollada para ser utilizada, como se puede ver en Dinamarca, donde existe un convenio entre la compañía eléctrica y aquel usuario que disponga de un terreno idóneo en el que instalar un aerogenerador. El propietario del terreno cede éste

para la instalación eólica y la conexión a la red de distribución eléctrica. Así, el propietario del terreno pasa a ser accionista de la compañía eléctrica y deja de pagar las tarifas eléctricas, ya que es productor de electricidad.

**¿Hasta qué punto es rentable?** La rentabilidad de este tipo de energía depende de la existencia de vientos continuos y que adquieran grandes velocidades. Este tipo de instalaciones son rentables, principalmente en la obtención de agua de pozos.

**¿Quién puede disponer de una instalación eólica?** Disponiendo del lugar idóneo, por la existencia de vientos, cualquiera puede colocar una instalación eólica e, incluso, fabricarla, aunque esto último lleva consigo una gran dedicación y tiempo.



## 9

### **BIENESTAR Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS**

Desconocemos desde cuando el hombre utiliza las energías alternativas para su bienestar; remontándonos en el tiempo, seguramente desde que el hombre es hombre. Sin embargo, con tanto avance tecnológico, hemos olvidado un aprovechamiento energético que tenemos al alcance de la mano; incluso en algunas regiones de la tierra es la única energía de la cual se dispone.

La planificación de un bienestar, en muchas circunstancias, nos viene impuesta por consideraciones sociales y de diversa índole, las cuales no comentaremos. Aunque siempre nos queda la duda de cómo mejorar nuestro bienestar, si lo tenemos o, si no disponemos de él, cómo llegar a obtenerlo. Ésta es la razón por la cual comentaremos algunas situaciones en las cuales las energías alternativas pueden llevarnos a obtener nuestro bienestar o a mejorarlo.

Comentar estos casos no es restrictivo y, por lo tanto, lo que intento es animar al lector a que busque más aplicaciones de las que comentamos a continuación.

#### **La sequía**

El problema de la sequía mundial es claramente diferente si al país al que le afecta es industrializado o no. Consideremos un país tercer mundista y nos planteamos cómo resolver el problema

de la sequía. Realizaremos un estudio de dónde existe agua y si ésta es dulce o salada. En el caso de que fuera salada, tendríamos que extraerla y luego desalarla. Para extraerla podríamos utilizar energía fotovoltaica o eólica, si es posible, y una vez extraída de la fuente la desalinizaremos (con alguno de los métodos ya mencionados) y posteriormente la distribuiremos. Esta distribución podrá realizarse mediante motores alimentados con energía fotovoltaica, llevando así el agua a los lugares donde sea necesaria. En el caso de que el agua fuese dulce, el proceso sería el mismo, a excepción de la desalinización del agua.

Consideremos un país industrializado con sequía, y qué mejor ejemplo que España. Durante los años 1992-93, nuestro país ha sufrido uno de los períodos de mayor sequía conocidos, sequía que además persiste en algunas zonas. Sin embargo, durante este mismo período, han existido lugares del norte de España donde los embalses se encontraban a rebosar y, en consecuencia, tenían que abrirse la compuertas para evitar un desbordamiento. España tiene realizado un estudio de cuencas acuíferas. Aprovechemos este estudio, al igual que se hizo con la distribución de petróleo, estudio tras el cual se realizó una red de oleoductos. Podemos realizar una red de agua, que sería mucho más corta que la red de petróleo. Desde los puntos donde se encuentre el agua se puede distribuir por medio de una red canalizada, para lo que se colocarían motores elevadores del agua en aquellos lugares donde fuera necesario. Estos motores estarían alimentados por instalaciones fotovoltaicas; no harían falta muchos gracias a la pendiente geográfica. Consideremos un ejemplo como Extremadura; al norte de esta comunidad autónoma se encuentra una de las zonas más ricas en agua, una parte del Sistema Central, la zona de Gredos, La Vera, Las Urdes, etc. Al este, limitando con la comunidad de Castilla La Mancha, existe una gran cantidad de pantanos naturales. Consideremos estos lugares como nuestras fuentes o manantiales naturales. A partir de aquí, y por medio de canalizaciones, se distribuiría el

agua a los pantanos de los cuales los pueblos toman el agua. Los accidentes del terreno serían evitados con pequeñas instalaciones fotovoltaicas. De esta manera, Cáceres resolvería el problema que tiene casi todos los años con la sequía. En las demás comunidades autonómicas se puede realizar un proyecto similar de la misma manera, ya que en todas las comunidades existen lugares que podríamos considerar como fuentes o manantiales de distribución, evitando así el problema de la sequía en España.

### **La contaminación**

El problema de la contaminación en las grandes ciudades es alarmante. Sin embargo, nos preguntamos por qué en Suecia se está contruyendo una central para el aprovechamiento energético del Sol para disponer de un sistema de calefacción y agua caliente sanitaria no contaminante, mientras que en otros lugares en los cuales disponemos de mayor energía solar no se hace, aunque sea a pequeña escala. En Madrid existen instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria en algunos tejados. Sería muy costoso reconvertir todas las instalaciones de Madrid en instalaciones fototérmicas; sin embargo, si existieran facilidades y ayudas como las ha habido para la instalación de gas natural que sustituya al gas ciudad, en poco tiempo Madrid sería una ciudad con menos contaminación. Además, se debería fomentar la instalación de la energía fototérmica en los nuevos edificios y viviendas. De esta manera se ahorraría energía y se empezaría un cambio medioambiental.

Otra posibilidad es el cambio de las calderas tradicionales de carbón por calderas bioenergéticas, aquellas calentadas por biomasa. Coincidiendo con el término de este escrito, el Ayuntamiento de Madrid ha tomado la iniciativa de gratificar a aquellas comunidades de vecinos que cambien su antiguo sistema de calefacción alimentado por carbón, y utilicen otros sistemas de calefacción alimentados por biomasa. Una vez tomada la iniciativa por el Ayuntamiento, la Comunidad Autónoma de Madrid



se ha sumado a esta campaña. No importa quién haya tomado la iniciativa; lo importante es que se realicen estos cambios. La ausencia de una normativa clara al respecto, así como de ayudas para el fomento de este tipo de energías, nos revela la situación de la mayoría de las comunidades autonómicas de nuestro país en 1994; ¡ojalá este libro anime a paliar este problema!

### **La casa energética**

En la década de los 70, la arquitectura civil inició un proceso de transformación en busca de un ahorro energético y un mejoramiento en la calidad de vida en las viviendas utilizando los medios de los cuales disponían.

Las pérdidas de calor que existían en una vivienda eran demasiadas para la época de crisis en la que se estaba viviendo. Después de un profundo análisis se dieron cuenta de la importancia de la orientación de las viviendas, así como de las pérdidas por paredes, puertas y ventanas sin aislamientos. La importancia de la colocación de un foco calorífico central distribuido verticalmente, como ocurría antiguamente en las viviendas en las que el hogar de la chimenea era el foco central de calor, ya que subía por la chimenea y se transmitía por la paredes adosadas a ésta, es una técnica vieja que se ha rescatado en estas «casas energéticas».

Las pérdidas de calor de una vivienda en invierno son importantes, pero "asarnos" en verano no es tampoco muy agradable; por esta razón tenemos que encontrar la temperatura idónea para vivir, denominada "temperatura del bienestar".

Para personas que se encuentran en perfecto estado de salud (y que, por lo tanto, la temperatura de su cuerpo no supera lo 37°C), la temperatura de bienestar oscila entre los 13°C de la cocina, escalera y vestíbulo y los 18°C del cuarto de estar y dormitorios utilizados durante el día. Para conseguir esta temperatura durante todo el año no sólo es necesario un sistema de calefacción para el invierno, sino también un sistema de refrigeración para el verano.

En aquellos lugares donde se podrían edificar casas y no edificios de viviendas, se intentaría no sólo buscar el bienestar de sus inquilinos, sino también un autoabastecimiento energético total. Este es un "caso de libro", pero en algunas ocasiones es posible, y si no es un autoabastecimiento total, sí parcial.

Una vivienda autosuficiente deberá disponer de un dispositivo de recogida de agua de lluvia; hay que tener en cuenta que la media que necesita una persona es de unos 130 litros de agua al día, de la cual unos 50 litros serán de agua caliente y el resto de agua fría, en este cálculo hemos considerado el agua para el WC, higiene personal, lavado de ropa y platos, beber, guisar, jardín y coche.

El dispositivo de calentamiento de la vivienda, así como el agua caliente, podría ser un sistema fototérmico. Un sistema fotovoltaico se encargaría de la obtención de la energía eléctrica necesaria; no debemos descartar una combinación de sistema eólico y fotovoltaico, si las condiciones lo permiten. Lógicamente toda esta infraestructura no es posible realizarla en una gran ciudad, pero sí en una zona rural y mucho más en aquellos lugares que, por las condiciones meteorológicas y geográficas, se encuentran aislados durante algún tiempo, como sucede en algunos pueblos de los Pirineos o de Picos de Europa, por ejemplo.

En los grandes pueblos y ciudades es aconsejable que las viviendas dispongan de un sistema de ventilación y calefacción natural, así como un buen estudio de los materiales empleados en la construcción, ya que dependiendo de éstos y de la edificación podemos encontrar grandes diferencias en cuanto a bienestar y a ahorro.





## EPÍLOGO

El autor espera que, al terminar de leer este libro, el lector sea capaz de encontrar y desarrollar las diversas formas de energías para sus necesidades personales, que aunque también espera que no se desespere mucho al comprobar que podemos aprovechar mejor nuestros propios recursos naturales pero esto no se puede realizar en la gran mayoría de los casos, a causa de los intereses existentes de unos y otros. Depende de todos que estos intereses empiecen a desaparecer y el único interés que exista por parte de todos sea lograr un mundo de bienestar.

Si desea el lector conocer dónde puede encontrar empresas en las cuáles se les informe de la realización de sus proyectos, debe dirigirse al departamento de información del ministerio de energía de su país. Cualquier residente en España puede solicitar dicha información en el IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, con sede en el Paseo de la Castellana nº 95, planta 21, 28046 Madrid. Teléfono (91) 556 84 15. Fax 555 13 89.



## BIBLIOGRAFÍA

- *Adams, R.W.*: Calor Solar en su Casa, Paraninfo, Madrid, 1987.
- *Alcor Cabrerizo, Enrique*: Instalaciones-Solares Fotovoltáicas. Progensa, Sevilla, 1987.
- *Alves, Ronald y Milligan, Charles*:.Energía Para la Vida. Ed.H. Blume, Madrid, 1985.
- *Azcárate, B. y Migorance, A.*: Energía e Impacto Ambiental. Equipo Sirius, Madrid, 2007.
- *Butti, Ken y Perlin, John*:.Un Hilo Dorado: 2500 Años de Arquitectura y Tecnología Solar. Ed. H. Blume, Madrid, 1985.
- *Centro de Estudios de Energía Solar, Censolar, ed*: Curso Programado de Proyectista-Instalador de Energía Solar. Progensa, Sevilla, 1989:
  - 1.-Tomo I : Física.
  - 2.-Tomo II: Energética Solar.
  - 3.-Tomo III: Sistemas de Aprovechamiento Térmico I.
  - 4.-Tomo IV: Sistemas de Aprovechamiento Térmico II.
  - 5.-Tomo V: Sistemas de Conversión Eléctrica.
  - 6.-Tomo VI: Apéndice.

- *Juster, F.*: Las Células Solares. Progensa, Sevilla, 1987.
- *García Galludo, Mario*: Energía Eólica,. Progensa, Sevilla, 1987. Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía, ed:
  - 1.- Energía Solar Térmica. M.I.C.y T., Madrid, 1992.
  - 2.- Estadísticas de la Energía-Solar Térmica en España 1992. M.I.C.Y T., Madrid, 1993.
  - 3.- Energías Renovables en España: Anuario de Proyectos, 1992. M.I.E., Madrid, 1993.
  - 4.- Energías Renovables: Catálogo de Empresas-España. IDAE, Madrid, 1993.
  - 5.- Manuales de Energías Renovables. Ministerio de Industria y Energía, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Madrid, 1993:
    - 1.- Tomo I: Energía Solar Térmica.
    - 2.- Tomo II: Incineración de Residuos Sólidos Urbanos.
    - 3.- Tomo III: Minicentrales Hidroeléctricas.
    - 4.- Tomo IV: Energía Eólica.
    - 5.- Tomo V: Biomasa.
    - 6.- Tomo VI: Energía Solar- Fotovoltáica.
  - 6.- Energías Renovables en España: Anuario de Proyectos de 1992. Ministerio de Industria y Energía, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Madrid, 1993:
  - 7.- Cuadernos Estadísticos de las Energías Renovables en España 1992. Ministerio de Industria y Energía, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Madrid, 1993:
    - 1.- Tomo I: Cuadernos Estadísticos de las Energías Renovables en España 1992.
    - 2.- Tomo II: Estadísticas de la Energía Minihidráulica en España en 1992.
    - 3.- Tomo III: Estadísticas de la Energía Eólica en España en 1992.
    - 4- Tomo IV: Estadísticas de la Energía Solar fovoltaica en España en 1992.

- 5.- Tomo V: Estadísticas de la Energía solar Térmica en España en 1992.
- 6.- Tomo VI: Estadísticas de la Energía Biomasa en España en 1992.
- *Minguella, J.A. y Torrens, M<sup>a</sup> C.:* Energía Solar, Manual de Instalaciones Térmicas, CEYSA, Barcelona, 1982.
  - *Portillo, P.:* Energía Solar. Ed. Pirámide, 1985.
  - *Rosato, M.A.:* Diseño de Máquinas Eólicas de Pequeña Potencia, Progensa, Sevilla, 1991.
  - *Sanchez Quesada, F., Gonzalez Díaz, G.:* Electrónica y Materiales, Dispositivos Fotovoltáicos .Ed. EUDEMA S.A., Madrid, 1988
  - *Vale, Brenda y Robert:* La Casa Autosuficiente. Ed. H Blume, Madrid, 1981.
  - *Vega J.M., Castillo F., Cardelas J.:* La Bioconversión de la Energía. Pirámide, 1983.
  - *Watson, Donald:* La Casa Solar, Diseño y Construcción. Ed. H.Blume, Madrid, 1985.





