

En este capítulo trataré los fundamentales tipos de energías renovables y tecnologías sostenibles que existen, comentando sus ventajas e inconvenientes. Aunque la aportación de cada una de ellas es pequeña, la unión de todas es ciertamente importante. Esta contribución general deberá ser aumentada y tenida en cuenta cuando se planteen soluciones energéticas generales. De esta manera, y al analizar con detenimiento los fundamentos técnicos sobre los que se basan estos tipos de energía, se puede uno dar cuenta que no se trata de ninguna utopía el solucionar con este tipo de recursos el problema energético.

#### **4.1.- Energía solar**

Como ya he comentado anteriores veces a lo largo de la tesina, todas las energías renovables son consideradas de origen solar. No obstante, este término se suele utilizar para referirse a las técnicas que utilizan de forma directa la radiación solar.

A su vez, la energía solar puede dividirse en dos tipos: la solar fotovoltaica que se encarga de transformar directamente la radiación en electricidad gracias al efecto fotovoltaico y la solar térmica que utiliza la capacidad directa de calentamiento del sol. Vamos a estudiar detenidamente estas dos.

##### 4.1.1.- Energía solar fotovoltaica

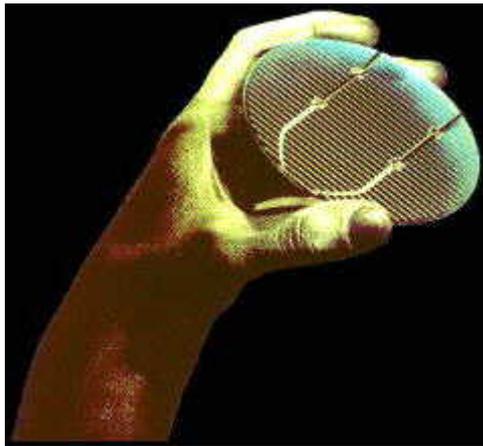
Mediante este tipo de energía renovable se consigue suministrar energía eléctrica a partir de unas células solares –diseñadas adecuadamente para ser bien iluminadas– que transforman directamente parte de la energía solar.

Las células solares están constituidas por un material semiconductor, en el cual los electrones están lo suficientemente poco ligados como para ser arrancados mediante la energía de los fotones incidentes. De este modo, pueden circular libremente por el semiconductor, recorriendo el cristal como si se tratara de una carga positiva. Es decir, el esquema es el de unos electrones recorriendo la célula solar y el de unos espacios huecos que son los que quedan cuando el electrón marcha. Una vez se ha logrado esto se debe evitar que los enlaces se recompongan a través de la recombinación. Para evitarlo se crea un campo eléctrico interno que separa ambos tipos de cargas: electrones y huecos. Para conseguir este campo interno se suelen modificar las propiedades electroquímicas del semiconductor, formando lo que se conoce como una unión *p-n*.

Este tipo de uniones se caracterizan por tener una región donde los huecos son muy abundantes y los electrones muy escasos, región *p*, y otra región donde ocurre justamente lo contrario, región *n*. En la unión de ambas regiones existe un elevado gradiente de ambos tipos de portadores generando que abandonen por difusión la región en que son abundantes, es decir, los electrones hacia la zona *p* y los huecos hacia la zona *n*. Esto genera que a ambos lados de la unión *p-n* se produzca un dipolo eléctrico que da lugar a un campo eléctrico circulante de la zona *n* a la zona *p*. Este campo eléctrico compensa la corriente de difusión explicada antes, y de esta forma se llega a la situación de equilibrio, evitando de este modo la recombinación.

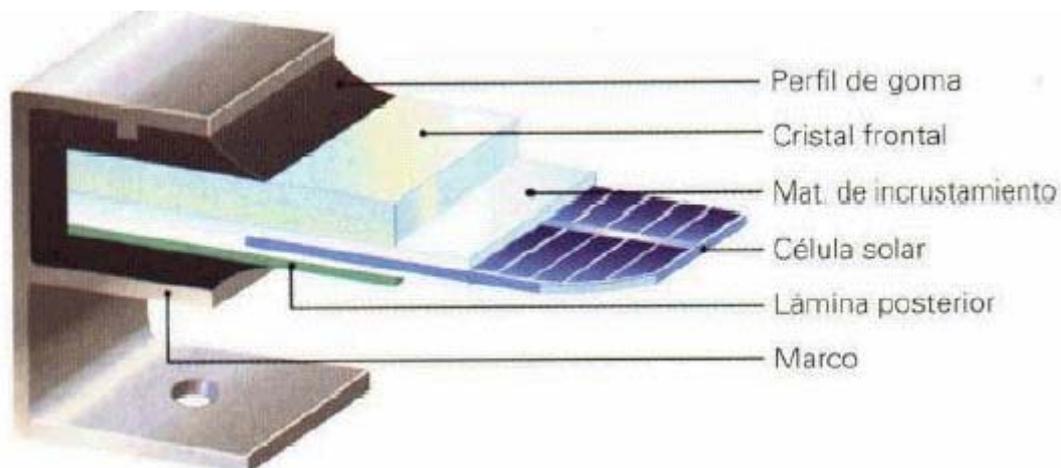
Es decir, una célula solar fotovoltaica está constituida generalmente por un disco monocristalino de silicio, de tal manera que una de las superficies sea de tipo *n* y el sustrato de tipo *p*. De esta manera la unión *p-n* es paralela a la superficie iluminada de

la célula. Sobre ambas caras de la célula se sitúan dos capas metálicas para que el semiconductor pueda tomar contactos eléctricos. Una de las dos capas metálicas debe tener forma de rejilla para que la luz pueda penetrar en el semiconductor. La luz entra por la cara donde se produjo la difusión. La corriente fotovoltaica generada sale por el contacto  $p$ , atraviesa la carga y vuelve a entrar por el contacto  $n$ .



**Fig1.-** Detalle de una célula solar FV

Las células solares son frágiles y generan poca energía, por tanto se precisa agruparlas para producir suficiente energía y proporcionar robustez. La unión de varias células solares da lugar al módulo fotovoltaico, cuyo esquema básico se representa a continuación:



**Fig 2.-** Esquema del módulo solar fotovoltaico

Si queremos que la producción de energía se realice de forma continua (y no se limite sólo a las horas con suficiente radiación solar) se instalarán sistemas de acumulación, como por ejemplo celdas electroquímicas.

La producción eléctrica mediante células fotovoltaicas hace 10 años era 18 veces más cara que la producida en centrales de carbón, mientras que en año 1997 ya se había

reducido la diferencia a tan sólo unas 6 veces. Este hecho provoca que la energía solar fotovoltaica tenga un claro mercado en aplicaciones de pequeña potencia tales como electrificación de núcleos aislados con red eléctrica a gran distancia, para señalización, comunicaciones y otras aplicaciones similares. En plantas de gran potencia tampoco existe ningún problema desde el punto de vista técnico. Como ejemplo mencionar la central solar fotovoltaica Toledo PV de 1 MW, que en sus años de utilización ha funcionado correctamente demostrando la bondad técnica de esta solución.

Uno de los mayores problemas con los que debe enfrentarse son los costes de generación, que se sitúan por encima de los 0,33 euros/ kWh, muy alejado de los costes de generación de los sistemas convencionales e incluso de los ofrecidos por otras renovables. En los próximos años se pretende reducir el coste de generación a los 0,12 euros/ kWh. Esta reducción se puede realizar gracias a los sistemas fotovoltaicos con concentración –capaces de reducir en un 50 % los costes de una instalación sin concentradores- pero no es posible pensar en una masiva instalación de estos sistemas a corto plazo.

Los sistemas de concentración se basan en la incidencia sobre cada célula solar de una mayor cantidad de energía. Esto se consigue mediante el empleo de sistemas ópticos que concentren la energía solar sobre las células solares. Como la energía eléctrica que se obtiene de una célula solar es sensiblemente proporcional a la energía solar que recibe, el empleo de la concentración permite el empleo económicamente más rentable de cada una de las costosas células. Existen en todo el mundo investigadores y proyectos para intentar aumentar un cierto número de veces la energía obtenida mediante la reflexión de la radiación solar sobre complicados e innovadores juegos de lentes y espejos. Pero este sistema también tiene algunos problemas en los que seguir trabajando como las dificultades para conseguir una iluminación homogénea dentro de la célula y nula fuera (para no perder energía), las pérdidas de la radiación difusa –que puede representar hasta un 20 % de la radiación global- y que las células no son capaces de captar, etc...

Pese a los problemas, entre el año 1971 y 1996 se instalaron en el mundo más de 700 MW de células fotovoltaicas. Particularmente en España, con una radiación solar diaria superior, en casi todo el territorio, a los 4 kWh/m<sup>2</sup> el potencial es inmenso y debería ser utilizado. Se debe seguir avanzando en esta tecnología, ya que según el IDAE (2002), la solar fotovoltaica tiene un peso prácticamente nulo en la fabricación de electricidad respecto el resto de renovables. Esto es así porque la tecnología no está lo suficientemente desarrollada como para hacerla rentable. No obstante, también existen otros problemas que obstaculizan su total despegue, como unas reglamentaciones disuasorias y unos procedimientos administrativos poco ágiles.

En la siguiente tabla se recogen las principales ventajas e inconvenientes de este tipo de FER:

| <b>Energía Solar Fotovoltaica</b>                     |  |
|---|--|
| <b>VENTAJAS</b>                                       | <b>INCONVENIENTES</b>  |
| 1.- Permite llevar la electricidad a núcleos aislados | 1.- Peso nulo en la fabricación de energía respecto otras fuentes de |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <p>2.- Tecnología probada</p> | <p>energía renovable</p> <p>2.- Sólo se genera energía en presencia de radiación solar (salvo incorporación de sistemas de acumulación)</p> <p>3.- Producción eléctrica 6 veces más cara que con centrales de carbón</p> <p>4.- Costes de generación (0,33 euros/kWh) superiores a los costes de otros sistemas convencionales</p> <p>5.- Técnicas de concentración para reducir los costes anteriores todavía en fase inicial de desarrollo</p> |
|-------------------------------|--|

**Tabla 1. Fuente: elaboración propia**

4.1.2.- Energía solar térmica

Es la energía que usa la capacidad de calentamiento del sol y se suele clasificar en térmica de alta y térmica de baja temperatura. La primera se suele usar para calentar un fluido que posteriormente moverá una turbina para generar electricidad, la segunda se suele usar para calefacción y agua caliente sanitaria.

Para captar la energía procedente del Sol, se utilizan colectores solares –como los de la figura- que son sistemas que permiten la transformación de la radiación solar en energía útil (calor, electricidad,...).

**Figs. 3 y 4**



En los colectores solares térmicos es donde se produce la transformación de energía, desde una fuente radiante distante a un fluido. Como la radiación incidente no suele llegar concentrada (acostumbra a tener un valor de unos 1000 wattios/m<sup>2</sup>) y como las longitudes de onda son muy cortas, se producen unos problemas diferentes a los típicos de intercambio de calor que comento en los siguientes párrafos.

De todos los colectores existentes el más usado es el colector plano. Un colector plano suele constar de varias cubiertas transparentes, una superficie de absorción, tubos o un circuito impreso por el que circula el fluido y todo ello ubicado dentro de una caja aislada térmicamente, tanto por la parte posterior como por las partes laterales. El concepto se basa en que una placa plana, supuestamente tomada como si se tratara de un

cuerpo negro, absorbe la energía solar de la radiación que logre incidir sobre ella. Esta absorción es directamente proporcional a la similitud que posea la placa respecto de un cuerpo negro. Todas las placas tienen una determinada absorción, o factor de absorción, que es un dato incluido en todos los colectores comerciales. La absorción final que tiene nuestra placa es el resultado de multiplicar la energía incidente sobre la misma por el factor de absorción.

El proceso se complica porque al recibir la placa esta energía térmica se calentará, aumentando la temperatura y emitiendo, a su vez, energía. Para evitar esta pérdida de energía se sitúan los cristales de la cubierta, produciéndose un “efecto invernadero”, es decir, los cristales permiten el paso de casi la totalidad del espectro solar y, en cambio, retienen las radiaciones que emite la placa. Para evitar esta fuga de energía se colocan los cristales mencionados, pero no son totalmente inocuos, en ellos se refleja, emite y absorbe parte de la energía incidente, por lo que el rendimiento de la transformación de la energía no es del 100 %.

Para conocer el rendimiento del colector basta calcular el cociente entre la energía total que logra transmitir al fluido respecto la energía total que recibe del Sol. Se estima que cada metro cuadrado de colector puede producir anualmente una cantidad de energía equivalente a 100 Kg de petróleo. Los colectores planos suelen ser eficaces hasta temperaturas medias de 60°C, es decir, son los que se suelen usar para la energía solar térmica de baja temperatura y por tanto funciones de climatización de piscinas, agua caliente sanitaria y calefacción, que aunque no lo parezca, puede llegar a representar más de una décima parte del consumo.

Pese que a diferencia de otras tecnologías convencionales para calentar el agua, las inversiones iniciales son elevadas y requieren un periodo de amortización de entre 5 y 7 años, como después los gastos de mantenimiento son bajos y el combustible gratuito, la solar térmica de baja es tecnológicamente comercial, existiendo diversos fabricantes nacionales y un mercado interesante aunque poco estimulado. Para conseguir la estimulación de dicho mercado, la solución pasa, como siempre, por fomentar las ayudas por parte de la administración y el avance de algunas políticas - como la de instalar colectores solares planos en las viviendas de nueva construcción-.

Cuando se requieren temperaturas más altas se debe acudir a los colectores de concentración, los cuales pueden presentar temperaturas de trabajo desde 110 a 3600 °C constituyendo de este modo lo que se conoce como térmica de alta temperatura.

Los colectores de concentración están formados a partir de sistemas ópticos de reflexión que concentran las radiaciones solares en un punto focal óptico –para el caso de los concentradores esféricos o parabólicos- o en un eje focal –para los de tipología cilíndrica o cónica-. Pueden ser estáticos o dinámicos, los últimos tienen la propiedad de moverse de acuerdo con la posición del Sol en el cielo, a efecto de que los rayos solares incidan paralelamente a una dirección. Este movimiento se consigue mediante un servomotor accionado mediante un sensor solar.

El funcionamiento de uno de estos colectores es el siguiente: se refleja la radiación solar recibida sobre un tubo de vidrio colocado a lo largo de su línea focal. Dentro de este tubo está el absorbedor y el agente portador de calor. La idea es que

dentro de este tubo se genere vapor y, mediante el empleo de una turbina, transformar este calor en energía mecánica y más tarde en electricidad.

La explotación de plantas de energía solar térmica de alta temperatura ha demostrado su correcto funcionamiento a nivel técnico, pero como todavía existen unos elevados costes de inversión y explotación resulta inviable su utilización a gran escala. En estos momentos se están desarrollando una nueva serie de colectores que serían capaces de producir directamente vapor, implicando una considerable reducción de los costes.

La penetración en el mercado de las tecnologías relacionadas con la energía solar depende, en gran medida, de una reducción de los costes de generación. No obstante hay grandes iniciativas en este campo como por ejemplo el horno solar de Odeillo, en los Pirineos franceses, que usa 600 grandes espejos para concentrar los rayos solares logrando temperaturas de más de 3000 °C; a menor escala también se utiliza para hervir agua en un pueblo del noroeste del Tíbet y, por último, la referencia obligada a las plantas solares SEG de California, con una potencia total instalada superior a los 300 MW suficientes como para abastecer a 170.000 hogares.

En la siguiente tabla se recogen los aspectos más destacados en relación a la energía solar térmica:

| Energía solar térmica |                             |  |   |   |
|-----------------------|-----------------------------|--|---|---|
|                       | Tecnología                  | Aplicaciones   | Ventajas  | Inconvenientes  |
| Baja T <sup>a</sup>   | Colectores planos           | Agua caliente sanitaria<br>Climatización piscinas<br>Calefacción | 1.- Costes de mantenimiento bajos<br>2.- Combustible gratuito<br>3.- Tecnológicamente comercial | 1.- Inversión inicial elevada<br>2.- Costes generación altos<br>3.- Periodo de amortización entre 5 y 7 años              |
| Alta T <sup>a</sup>   | Colectores de concentración | Generación eléctrica   | 1.- Correcto funcionamiento a nivel técnico   | 1.- Elevados costes de inversión, generación y explotación<br>2.- Inviabilidad la aplicación a gran escala por el momento |

**Tabla 2. Fuente: elaboración propia**

#### 4.2.- Energía eólica

La circulación del viento es una consecuencia de la radiación solar: el hecho de que en distintos puntos de la Tierra existan diferentes cuotas de insolación provoca la aparición de desequilibrios de temperatura que hacen variar la densidad de las masas de aire y, por consiguiente, variar la presión. El aire, como cualquier otro gas se moverá desde las zonas de alta presión a las de baja presión, produciendo el viento. Sin embargo, no sólo esta fuerza provocada por el gradiente de presión provoca el movimiento del aire; en la circulación de las masas de aire también influye la fuerza gravitacional, las fuerzas de fricción que provocan gradientes de viscosidad y la fuerza de Coriolis. Además, para definir con precisión el régimen de vientos en un punto también se deben considerar otras variables como la situación geográfica, las características del clima locales, la topografía de la zona, la orografía del terreno,...

Se conoce con el nombre de energía eólica aquella que transforma la energía cinética del viento. La Tierra recibe una cantidad de energía procedente de la radiación solar y, funcionando como si se tratara de una máquina térmica, transforma este calor solar en energía mecánica, la energía cinética del viento. Para transformar esta energía cinética en energía mecánica aprovechable se usan multitud de máquinas eólicas, que son todas aquellas máquinas accionadas por el viento pudiéndose distinguir los aeromotores, si se usa directamente la energía mecánica (bombeo de agua, p.e.), y los aerogeneradores, si se acciona un generador eléctrico.

Los aerogeneradores son los que han alcanzado un relativo grado de madurez y, por tanto son los que explicaré con algo más de detenimiento. Un aerogenerador, como cualquier otra máquina eólica consta de unos soportes y de unos sistemas de captación, orientación, regulación, transmisión y generación.

Las máquinas eólicas deben reposar sobre un soporte que debe resistir el empuje del viento y las eventuales vibraciones. Por otra parte, su altura debe ser suficiente como para que las turbulencias debidas al suelo no afecten a la máquina y no se produzca una perturbación localizada sobre el régimen de vientos.

El rotor en general, o la aeroturbina para el caso de un aerogenerador, es el elemento principal en el caso de una máquina eólica. Está integrada por un determinado número de palas y por el mecanismo de paso, que se utiliza para el control de la velocidad y potencia. Su misión es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica aprovechable.

Para definir totalmente una aeroturbina se deben dar tres parámetros: la velocidad típica, la solidez y el rendimiento. La velocidad típica es la relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento. La solidez define la relación entre la superficie proyectada por las palas y la superficie descrita por las mismas en su movimiento de rotación; de este modo conocemos la eficacia del material usado y la sencillez constructiva. Finalmente el rendimiento expresa la cantidad de energía del viento que se transforma en mecánica en el eje de la aeroturbina o rotor.

Los sistemas de orientación son los responsables de conocer la dirección del viento y situar el rotor en la misma dirección, de esta forma se disminuyen los esfuerzos y las pérdidas de potencia. Los dispositivos de orientación se suelen escoger según la potencia de la instalación eólica: en las de pequeña y mediana potencia se instala una cola que actúa como una veleta reorientando el rotor según el viento, mientras que en las mayores se usan palas inclinadas ligeramente hacia atrás, de tal forma que al rotar describan un cono, cuando el rotor no está orientado las palas que están más a favor del viento reciben un empuje mayor devolviendo al rotor a la posición de equilibrio.

Los sistemas de regulación (mecanismos de paso) controlan la velocidad de rotación evitando los posibles cambios debidos a las alteraciones en la velocidad del viento. Lo más usual es variar el ángulo de ataque de las palas, con lo que se aumenta o se disminuye el rendimiento aerodinámico y, por tanto, la potencia absorbida.

En los aerogeneradores se debe situar, como sistema de transmisión, un multiplicador entre el rotor y el generador. Esto es así porque no se puede accionar directamente un generador de corriente eléctrica por culpa de las bajas velocidades de rotación alcanzadas.

Finalmente, el sistema de generación, que está constituido normalmente por un alternador y es el encargado de generar la producción de energía eléctrica.

La energía generada por una máquina eólica depende de dos factores: primero de la energía disponible en el lugar de emplazamiento de la máquina, representada por la curva de duración anual de vientos de las diferentes regiones, es decir, efectos relacionados con la dispersión, intermitencia y aleatoriedad de la energía eólica; el segundo factor es la necesidad de alcanzar un determinado umbral de conexión, por debajo del cual no hay energía suficiente para impulsar el rotor y por tanto la máquina es incapaz de suministrar potencia.



**Fig 5.-** Detalle de un aerogenerador



**Fig 6.-** Parque eólico

Actualmente el tamaño de algunos aerogeneradores ha alcanzado ya hasta los 4000 kW de potencia. La capacidad instalada hoy en día es de 7000 MW equivalente a siete grandes centrales nucleares. En España la potencia instalada es de 70 MW, alcanzando por tanto un nivel claramente comercial. Esta situación se repite en casi todos los países europeos que disponen de recursos eólicos.

Los factores responsables de este desarrollo son varios, por una parte la adecuada disponibilidad de recursos (en España concentrados en las áreas de Galicia, Andalucía, Canarias y el Valle del Ebro), el buen grado de desarrollo tecnológico alcanzado, un nivel de tarifas y ayudas a la inversión adecuados y unos costes de inversión similares a los de otras energías convencionales (alrededor de las 150.000 ptas/kW instalado y 9 ptas/kWh). De todos estos temas ya hablaré con más profundidad en otro apartado de la tesina.

Según el Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE) hay medio millar de empresas involucradas en este sector, se siguen realizando grandes inversiones en parques eólicos y por poner algunos ejemplos relevantes citar el parque de Cabo Villano en Galicia con una potencia de 3MW, el parque eólico del Bajo Ebro o el parque eólico de Tarifa que supuso una inversión de 6000 millones de pesetas y ahora factura 1000 millones de pesetas al año.

En la siguiente tabla resumo las principales ventajas e inconvenientes de este tipo de FER:

| Energía eólica  |   |
|---|---|
| VENTAJAS  | INCONVENIENTES  |
| <p>1.- Buen grado de desarrollo tecnológico</p> <p>2.- Comercialmente competitivo en todos los países con un suficiente nivel de recursos</p> <p>3.- Nivel de tarifas y ayudas a la inversión adecuadas</p> <p>4.- Costes de inversión, 9 pta el kWh, similares a otras energías convencionales</p> | <p>1.- Sólo se produce energía en presencia de recursos suficientes de viento</p> <p>2.- Incertidumbre asociada a la intermitencia y aleatoriedad de tales recursos</p> <p>3.- Necesidad de llegar a un umbral de conexión para impulsar el rotor y suministrar potencia</p> <p>4.- Ruidos y ocupación del territorio</p> |

**Tabla 3. Fuente: elaboración propia**

#### 4.3.- Energía geotérmica

Se entiende por geotermia al calor almacenado en el interior de la tierra, por tanto la energía geotérmica es la que se deriva de este calor que es producido por la desintegración espontánea, natural y continua de los isótopos radioactivos que existen, en muy pequeña cantidad, en todas las rocas naturales. El calor se suele transmitir por conducción a través de los materiales del subsuelo, pero debido a la baja conductividad térmica de los mismos, gran parte de esta energía se almacena en las entrañas de la Tierra durante largo tiempo.

Debido a la generación constante de calor y a la baja conductividad térmica que acabamos de comentar se generan unas temperaturas del interior del planeta progresivamente más elevadas, produciéndose un gradiente geotérmico que ocasionará a su vez un flujo geotérmico, mucho menor que el flujo de energía solar, lo que condiciona el uso de esta energía renovable. No obstante, existen determinadas zonas del interior de la tierra donde dicho flujo es anormalmente elevado: se produce la fusión parcial de parte de los materiales profundos y bajo determinadas condiciones dinámicas, pueden ascender a puntos de la corteza terrestre rocas que, bajo condiciones normales, estarían a temperaturas varios centenares de grados inferiores. En estos puntos será más cómodo y fácil extraer el calor de la tierra y por tanto donde se deberá explotar más este recurso. Además, aunque estas zonas con flujos elevados sean pocas, el potencial explotable es de gran magnitud ya que si las masas ígneas son suficientemente voluminosas, su calor puede tardar miles de años en disiparse por la baja conductividad antes comentada.

Pero la extracción del calor requiere, además de estar en una de las zonas con flujo geotérmico anormalmente elevado para tener zonas a alta temperatura a profundidades asequibles, tener una estructura geológica porosa o con fisuras capaz de retener agua – que suele proceder de una infiltración superficial –. De esta manera, la corriente de agua absorberá el calor y lo transportará a la superficie.

Según las características del yacimiento geotérmico se pueden distinguir los sistemas hidrotérmicos, geopresurizados y de roca seca caliente.

La fuente de calor en un sistema hidrotérmico se encuentra a una profundidad entre 1 y 10 Km, garantizando un elevado flujo térmico durante mucho tiempo. Por encima de este estrato existe un acuífero que está en contacto con la roca a elevada temperatura. Encima del acuífero suele haber una capa de roca impermeable para evitar las pérdidas del fluido geotérmico superficiales. Según las condiciones de presión y temperatura del yacimiento, el agua del acuífero se encontrará en estado líquido, en forma de vapor o en estado mezcla de los dos anteriores. Si estamos en el caso de un sistema hidrotérmico que genera un vapor seco (fluido geotérmico en fase vapor) se podrá usar para producir energía eléctrica mediante unas turbinas de vapor. Si en cambio el fluido geotérmico está en fase líquida el aprovechamiento puede resultar no rentable: sistemas para evitar la corrosión, sistemas de depuración de las sales disueltas,...

Los sistemas geopresurizados son aquellos en los que el fluido contenido en una formación rocosa subterránea geológicamente joven soporta gran parte de la carga de las rocas por encima de él, generándose una presión muy elevada. En estas formaciones el flujo geotérmico normal puede aumentar su temperatura hasta casi 300°C. Se está investigando para desarrollar técnicas que permitan explotar de una forma rentable estos yacimientos.

Finalmente señalar que existen algunas zonas donde hay bolsas de rocas impermeables recubriendo una cámara magmática. La temperatura en estas formaciones aumenta con la profundidad y con la cercanía a dicha cámara pero, debido a la impermeabilidad del sistema no existe acuífero y por eso reciben el nombre de sistemas de roca seca caliente. Para explotar este tipo de yacimientos se debe perforar un pozo que alcance una zona suficientemente caliente, se fractura la roca y se intercepta dicha fractura con otro pozo. Después se hace circular agua de un pozo a otro a través de la zona fracturada y así se extrae el calor de la roca. El funcionamiento general de uno de estos sistemas se resume visualmente en la siguiente representación:

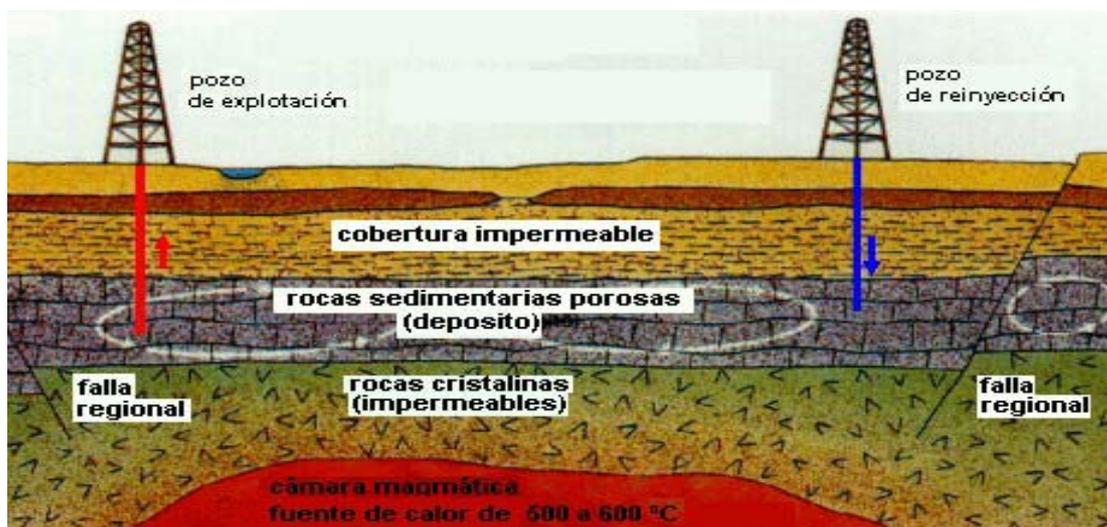


Fig 7

Para explotar un yacimiento geotérmico se deben valorar una serie de variables como la profundidad y espesor del acuífero, la calidad y temperatura del fluido, la permeabilidad y porosidad de las rocas, la conductividad térmica, etc... Conocidas estas variables se explotará mediante sondeos, como en la industria petrolífera. Para una correcta explotación se debe suministrar una potencia constante, por tanto un caudal constante de extracción. Para evitar la descompresión que se produciría en el yacimiento al ir extrayendo el fluido geotérmico lo que se suele hacer es reinyectar el fluido después de enfriado. Esto es una solución válida porque lo que queremos aprovechar es el calor y no el agua.

Los yacimientos de alta temperatura se usan para la producción de energía eléctrica: el vapor a presión procedente del pozo geotérmico pasa a través de una turbina acoplada a un generador que producirá la energía eléctrica. Los vapores de escape de la turbina se condensan para pasarlos a fase líquida y reinyectarlos. Si en vez de vapor tenemos un fluido geotérmico en fase predominantemente líquida se conducirá hacia un recipiente de expansión donde lo dejaremos expandir bruscamente y, de este modo, una cierta parte pasará a fase vapor. El vapor se lleva a la turbina y el líquido se reinyecta. Existen muchas investigaciones para mejorar el proceso para conseguir usar un fluido en fase líquida pero muchas de ellas están en proceso de experimentación.

Los yacimientos de baja temperatura, normalmente en mayor cantidad que los anteriores y repartidos más homogéneamente sobre el territorio, se suelen utilizar en procesos de calefacción urbana, industrial y agrícola principalmente. Una instalación geotérmica de baja consta de dos pozos, uno para extraer y otro para inyectar, dos bombas, una para extraer el fluido geotérmico y otra para inyectar los efluentes fríos, un intercambiador de calor que transmita el calor del fluido geotérmico al líquido que quiera ser calentado y una conducción para transportar el agua calentada hasta el consumidor. El principal obstáculo de la total comercialización es la necesidad de la cercanía entre el consumidor, o la zona donde hará falta el agua calentada, y el campo geotérmico.

En la siguiente tabla resumo las principales características de este tipo de FER:

| Energía geotérmica     |                        |  |   |   |  |
|------------------------|------------------------|--|---|---|--|
|                        |                        | TECNOLOGÍA   | APLICACIÓN                                | INCONVENIENTES  | VENTAJAS   |
| yacimientos de alta Tª | Fluido en fase vapor   | desarrollada   | generación eléctrica                      | 1.- Dificultad de explotación<br>2.- Malos rendimientos con fluidos en fase líquida |  |
|                        | Fluido en fase líquida | investigaciones para mejorar el proceso y los rendimientos de transformación en fase vapor | generación eléctrica                      |   |  |
| yacimientos de baja Tª |                        | desarrollada   | calefacción urbana, industrial y agrícola | 1.- Necesidad de cercanía entre el campo geotérmico y el consumidor                 | 1.- Mayor número de yacimientos de este tipo y repartidos homogéneamente |

**Tabla 4. Fuente: elaboración propia**

Las perspectivas para España son de utilizar su potencial geotérmico en usos para la calefacción, agua caliente sanitaria e invernaderos, no contemplándose la producción de electricidad debido a los pocos yacimientos de alta que produzcan un fluido en fase vapor (fácilmente explotables) y las dificultades técnicas para sacar buenos rendimientos con los fluidos en fase líquida.

#### **4.4.- Energía hidráulica**

La energía del agua es esencialmente una forma de energía solar: el sol inicia el ciclo hidrológico evaporando las aguas de la Tierra, más tarde se encargará de calentar el aire que transporta dicho vapor de agua, finalmente el agua volverá a caer sobre la superficie terrestre en forma de precipitación mientras disipa su energía potencial a lo largo de las largas distancias que recorre sobre tierra firme. Es decir, la energía hidráulica aprovecha la energía potencial que aparece en algunos puntos del ciclo evaporación-condensación del agua. Además de una energía potencial, una corriente de agua también posee cierta energía cinética, pero no tiene un valor suficientemente considerable como para poder ser aprovechable.

La potencia que puede desarrollar una masa de agua es directamente proporcional al producto de la aceleración de la gravedad, el caudal de agua y la altura de caída. Esto pone de relieve que se pueden aprovechar desde pequeños desniveles por los que circula un gran caudal como grandes desniveles por los que circula un pequeño caudal. No obstante, se debe distinguir el potencial bruto, el teórico máximo que sería capaz de suministraros la energía hidráulica en su conjunto de todo el planeta, del potencial técnicamente aprovechable, es decir, el que realmente conseguimos debido a que el anterior está condicionado por factores variables tales como los caudales disponibles, función de la pluviometría y la climatología, limitaciones técnicas, topográficas, geológicas, etc...

La energía hidráulica suele dividirse en hidráulica clásica o convencional, con potencias superiores a los 10 MW y la minihidráulica, aquellas instalaciones con potencia instalada inferior a los 10 MW.

Para instalar un sistema de aprovechamiento hidráulico se deben valorar un par de parámetros fundamentales: el caudal disponible y el desnivel que se puede alcanzar, así evaluaremos el potencial extraíble. El primero se debe obtener a partir de una extensa recopilación de datos pluviométricos mientras que el segundo es función del terreno. Este último dato condicionará bastante el tipo de construcción: un gran desnivel obligará a usar largas canalizaciones, uno pequeño obligará la construcción de un embalse para aumentarlo.

Las conducciones sirven para transportar el agua desde la corriente hasta el sistema captador y pueden circular en régimen a presión (conducción cerrada) o en régimen de gravedad (conducción abierta). Estas conducciones están diseñadas para evitar, en lo posible, las pérdidas por fricción e incorporan sistemas para regular el caudal de paso. En cualquier caso, lo que se pretende es que el agua llegue con la máxima energía hasta el sistema captador para que el rendimiento sea máximo.

Para aumentar el potencial aprovechable suele ser necesario la construcción de un embalse. La misión del mismo se puede resumir en: canalizar el flujo de agua hasta el dispositivo captador de energía, almacenar la energía de la corriente de agua y elevar el nivel de agua para aumentar la cantidad de energía disponible. Para lograr embalsar el agua se construye un dique o una presa. Las características de diseño de uno de estos elementos vienen condicionadas por 4 aspectos: facilidad de construcción según la anchura de la corriente y el tipo de suelo, maximizar el volumen de agua susceptible de ser almacenado sin dañar el equilibrio del medio, minimizar la distancia entre el dique y el captador de energía debido a los costes de transporte del agua y la localización de un desnivel óptimo. En las épocas de fuertes avenidas se debe poder eliminar el exceso de agua sin que éstas supongan una erosión de la obra, para conseguir tal fin se construyen aliviaderos, pozos y canales de desagüe.

Para escoger el dispositivo captador de energía se deben evaluar los siguientes parámetros: caudal, desnivel, localización, condiciones del suelo, longitud de las conducciones, condiciones del agua, generación de energía, costes y mano de obra, materiales disponibles y mantenimiento. No obstante, los dispositivos captadores más utilizados son las turbinas. Existen varios modelos, como las turbinas Pelton, Michell, Kaplan o Francis, la mayoría de ellas disponen de una rueda de gran resistencia mecánica con un anillo saliente en su periferia, alrededor de éste una serie de cucharas fuertemente sujetas para soportar el chorro de agua y perfectamente pulidas y calculadas para que aprovechen lo mejor posible la energía del agua que choca contra ellas. Reciben el agua en un sentido y la expulsan en sentido contrario o por la parte central de la rueda motriz. Además, la presión del agua se ve incrementada por una boquilla que hace adoptar al agua la forma de un cilindro macizo cuyo eje coincide con el filo de la rueda de cucharas. Cada una de estas turbinas están diseñadas para trabajar bajo unas determinadas condiciones de caudal y de velocidad y presión del agua. Con las turbinas se aprovecha casi totalmente la energía del agua, y aquellas en las que se alcancen unas mayores velocidades de rotación son las más recomendadas para la generación de energía eléctrica.

Cada vez más, y para resolver el problema de la rigidez de las centrales hidráulicas convencionales, es decir aquellas en las que se suministra una potencia constante y en contraposición de una demanda de consumo variable, se están usando las centrales reversibles. El funcionamiento de estas centrales se basa en usar la potencia excedente de los periodos de poco consumo para accionar unas bombas que toman el agua de un embalse construido en la parte inferior de la central y la elevan hasta el embalse propio de la central hidroeléctrica reversible. Cuando no hay excedentes de potencia cesa inmediatamente el bombeo y se invierten los términos: el déficit de potencia se resuelve haciendo bajar el agua almacenada previamente a través de las turbinas. De esta manera se consigue suministrar una potencia adicional en horas punta y permite absorber la excedente en horas bajas. Pese a que existen pérdidas de rendimiento en el bombeo, gracias a la reversibilidad se consigue una garantía de suministro de potencia ya que el funcionamiento de estas centrales es independiente de los caudales naturales.

La energía hidráulica constituyó una de las primeras formas de producción de electricidad. A partir de los años 60 perdió fuerza debido a los bajos costes de los combustibles fósiles y se abandonaron gran parte de las pequeñas instalaciones. Debido a los motivos que ya he comentado y que empujan a una revitalización del sector de las energías renovables, se están volviendo a poner en explotación antiguas centrales a costes razonables, rehabilitando gran parte de las minicentrales existentes e incorporando sistemas de aprovechamiento hidroeléctrico en los embalses que carecen de él.

Las ventajas de este tipo de energía son que no es contaminante y puede suministrar trabajo sin generar residuos, es relativamente fácil de controlar y su rendimiento es muy alto (se puede transformar entre el 80 y el 90 % de la energía hidráulica en trabajo útil), su “combustible”, el agua, es gratuito y los gastos de explotación son muy reducidos. Los inconvenientes son los elevados costes del primer establecimiento de un aprovechamiento hidroeléctrico respecto los de una central térmica, el largo período de construcción, los costes de expropiación de las futuras zonas inundables, la dificultad de encontrar nuevos emplazamientos óptimos para construir más aprovechamientos, el impacto sobre la calidad del agua, sobre las corrientes y, en definitiva, sobre los ecosistemas acuáticos. En la siguiente tabla resumo lo comentado:

| <b>Energía hidráulica</b>        |   |
|----------------------------------|---|
| <b>VENTAJAS</b>                  | <b>INCONVENIENTES</b>                                     |
| 1.- No contaminante              | 1.- Elevados costes del primer establecimiento            |
| 2.- No se producen residuos      | 2.- Largos periodos construcción                          |
| 3.- Fácilmente controlable       | 3.- Costes de expropiación de las zonas inundables        |
| 4.- Elevado rendimiento          | 4.- Dificultad de encontrar nuevos emplazamientos óptimos |
| 5.- Combustible gratuito         | 5.- Impactos aquo-ecosistemas                             |
| 6.- Gastos explotación reducidos |   |

**Tabla 5. Fuente: elaboración propia**

Si se mantiene el nivel de ayudas y se eliminan algunas barreras administrativas se podrá mantener una actividad importante en el próximo futuro. Esto es así porque el potencial bruto de la España peninsular es de unos 150 TWh/año y, de éstos, unos 66 TWh/año son técnicamente aprovechables. De esta última cantidad están desarrollados actualmente algo más de la mitad de modo que, en el mejor de los casos, quedan unos 30 TWh/año por desarrollar. La mayor parte de los aprovechamientos minihidráulicos por construir se emplazarían en la cuenca Norte y en la cuenca del Ebro. Las inversiones necesarias para conseguir este propósito ascienden a unos 200.000 millones de pta. Ya hablaré de estos temas más profundamente en posteriores apartados.

#### **4.5.- Biomasa**

La formación de biomasa es el modelo básico de captación y acumulación de energía solar por las especies vegetales verdes, seleccionado por la naturaleza a lo largo de un proceso evolutivo de más de 3000 millones de años, y que ha mantenido la vida en la Tierra hasta nuestros días. Además, es la única forma de captación de energía solar que lleva asociado el almacenamiento, distinguiéndose así de otras como la solar o la eólica que deben concentrarse y almacenarse, muchas veces con dificultad. Es decir, la materia orgánica constituye parte de la energía solar almacenada y se denomina energía de la biomasa. La formación de esta materia orgánica se realiza a partir de la fotosíntesis con la ayuda de la luz solar, generando las grandes moléculas de alto contenido energético, con coste nulo en el almacenamiento y sin pérdidas.

En la fotosíntesis, como en cualquier otro proceso de conversión energética, es interesante conocer el rendimiento de la transformación, es decir, el % de energía solar que queda transformada en energía de la biomasa. El rendimiento de la fotosíntesis es del 30 %, de la radiación solar que llega a la tierra sólo el 40 % es fotosintéticamente activa y, de ésta, el 30 % se refleja en las plantas. Si añadimos las pérdidas de respiración de las plantas, otras pérdidas y lo sometemos todo a las condiciones de campo reales, tan sólo un 1 % de la energía solar se transforma en biomasa. Aunque este rendimiento pueda parecer bajo, se ha de considerar que los sistemas vivos que captan y convierten la energía solar se encuentran ampliamente distribuidos sobre todo el planeta.

Existen varios tipos de biomasa: la vegetal que es la producida directamente como consecuencia de la fotosíntesis, la animal que es producida mediante el consumo de los seres vivos de la anterior, la biomasa residual que se origina a partir de los residuos de producción y de consumo respectivamente de las dos anteriores y la biomasa fósil que una vez enterrada y bajo determinados mecanismos químicos o por condiciones físico-químicas producirán los combustibles fósiles. Para usar a la biomasa como fuente de energía se puede optar por dos alternativas, además de para usos domésticos, que son las siguientes: usar residuos como fuente de biomasa y realizar cultivos energéticos destinados a la producción de energía.

##### Residuos como fuente de biomasa

De un modo general los residuos se pueden clasificar en 3 grandes grupos: agrarios, industriales y municipales o urbanos. Los primeros son los residuos generados como consecuencia del sector primario de la actividad humana, y que a su vez se pueden clasificar en agrícolas, forestales y ganaderos. Los segundos proceden del sector industrial y los terceros están integrados por los residuos que se producen en los núcleos de población debido a procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo y limpieza que se dan en las ciudades.

Como los rendimientos de la mayoría de procesos no son del 100 % se produce una generación continua de residuos. La mayor parte de estos residuos son orgánicos, conformando biomasa residual, por tanto suponen un enorme potencial para la producción de energía. Además, existen una serie de ventajas adicionales como por ejemplo que los residuos, considerados como materia prima, se producen de forma

continua y creciente como consecuencia de la actividad humana; la biomasa residual suele estar concentrada en lugares determinados, ahorrando los costes de transporte; el consumo de residuos con fines energéticos ayuda a la eliminación de los residuos suponiendo una ventaja ambiental y finalmente, algunos métodos de aprovechamiento de la biomasa residual generan coproductos valiosos.

No obstante, la baja densidad física y energética de la biomasa residual, así como su elevada humedad provoca que para poder aprovechar su contenido energético se le deba someter antes a unos procesos de transformación. De dichos procesos existen numerosos tipos, pero los más usados y los que han demostrado ampliamente su bondad técnica son: procesos termoquímicos (combustión) y procesos bioquímicos (fermentación alcohólica y digestión anaerobia).

La combustión es el sistema más elemental de recuperación energética de la biomasa. Consiste en la oxidación completa de la materia para generar dióxido de carbono, vapor de agua, cenizas y, sobretodo, calor. Este último es el componente energético útil del proceso. Se debe vigilar la proporción de oxígeno para conseguir una oxidación completa y evitar la aparición de monóxido de carbono que perjudicaría al equipo y generaría un aumento en los niveles de gases contaminantes emitidos. Para conseguir este objetivo se suele trabajar con un exceso de oxígeno respecto del que sería estequiométricamente necesario. La temperatura de combustión debe estar entre los 600 y los 1300 °C para evitar efectos similares al defecto de oxígeno. Finalmente hay que comprobar la humedad del combustible (en este caso biomasa residual) ya que la evaporización del agua consume gran parte de la energía producida y, también se deben limitar las concentraciones de azufre, flúor, cloro y cobre del combustible porque generarían, al oxidarse, gases altamente contaminantes y sustancias perjudiciales como las dioxinas. El proceso se realiza en las cámaras de combustión. Aunque en este proceso se originan gases invernadero, no ocurre como en el caso de los combustibles fósiles en el que el C que se desprende lleva miles de años fuera del ciclo del C en la Tierra y por tanto constituye un aporte adicional, si no que el C que se desprende procede de la fijación del C en la biomasa y por tanto está dentro del ciclo natural del carbono en la Tierra. Es decir, no se considera un aporte extraordinario porque se estima que las emisiones se compensan con la fijación durante el crecimiento de los vegetales.

La energía obtenida puede usarse para la producción de calor (en forma de agua o aire caliente) para el uso doméstico o industrial, y, mediante el paso del vapor generado por una turbina y un generador producir energía eléctrica.

Otro proceso para aprovechar la energía de la biomasa es la fermentación alcohólica. La mayor parte de la energía solar es almacenada por las plantas en forma de hidratos de carbono: almidón o celulosa principalmente. Cualquier producto que contenga azúcares fermentables como los expuestos se puede usar para fabricar alcohol. No obstante, para obtener unos buenos rendimientos es necesario someter a unos procesos previos a las materias excesivamente ricas en almidón o glucosa. Concretamente, para obtener etanol a partir de la biomasa, debemos someter a ésta a los siguientes pasos: pretratamiento, consistente en reducir a la biomasa a partículas pequeñas para aumentar la superficie de contacto para los pasos posteriores; hidrólisis que transformará los polímeros de glucosa en azúcares sencillos mediante unas enzimas

o mediante reactivos químicos; la propia fermentación alcohólica, proceso por el que se transforma la glucosa en etanol mediante la acción de microorganismos; y finalmente se realiza la separación y purificación del etanol, ya que en el proceso anterior se obtiene una masa de fermentación en la que el etanol sólo es presente en un 8-12 %. En este proceso de purificación obtenemos bioetanol con distintos grados de pureza. Según estos grados las aplicaciones son ligeramente diferentes:

BIOETANOL → alcohol hidratado 96 % → Utilizado como combustible único

BIOETANOL → alcohol puro 99,6 % → Mezclas con gasolina

BIOETANOL → ETBE\* → Aditivo a la gasolina

\* 5-Etil-Ter-Butil-Eter

| BIOCOMBUSTIBLES   |   |
|---|---|
| VENTAJAS  | INCONVENIENTES  |
| <p>1.- Reducir dependencia petróleo</p> <p>2.- Aumentar seguridad suministro energía</p> <p>3.- Generación empleo área rural</p> <p>4.- Nivel de precios suficiente que lo convierten en competitivo con la gasolina</p> <p>5.- Con ajustes en el motor:</p> <p>5.1.- mejora del rendimiento térmico</p> <p>5.2.- menor índice de emisión de gases</p> <p>6.- En su empleo como aditivo:</p> <p>6.1.- ETBE siempre miscible con la gasolina</p> <p>6.2.- poder corrosivo limitado</p> <p>6.3.- menor consumo y menor índice de gases tóxicos</p> <p>6.4.- mejores prestaciones</p> <p>7.- Reducción de los gases provocados por una combustión incompleta: CO, HC,...</p> | <p>1.- EN SU USO COMO COMBUSTIBLE ÚNICO</p> <p>1.1.- Ajustes en el carburador</p> <p>1.2.- Adaptar bujías a temperaturas y presiones más elevadas</p> <p>1.3.- Dispositivo para facilitar arranque en frío</p> <p>1.4.- Materiales resistentes a la corrosión</p> <p>2.- EN SU USO CON MEZCLAS CON GASOLINA</p> <p>2.1.- Reducción de la potencia</p> <p>2.2.- Aumento del consumo</p> <p>2.3.- Aumento corrosión partes metálicas</p> <p>2.4.- Mayor deterioro compuestos de caucho</p> <p>3.- Aumento de las emisiones de NOx y algunos aldehidos</p> |

**Tabla 6.-** Estado de desarrollo de los biocombustibles. **Fuente:** elaboración propia

El último proceso de aprovechamiento de la biomasa es la digestión anaerobia. Se trata de una fermentación en ausencia total de oxígeno que genera una mezcla de productos gaseosos (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) conocido como biogás. La biomasa que se suele usar como materia prima de este proceso es la residual, destacando los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales. El proceso consta de tres etapas diferenciadas. En la primera etapa se produce la hidrólisis, donde se degradan los polímeros orgánicos complejos constituyentes de la biomasa y dan lugar a moléculas más simples. En la segunda fase se produce la acidogénesis donde un grupo de bacterias producen varios compuestos simples que servirán como alimento para las bacterias metanogénicas que se encargan de realizar la última etapa. En la metanogénesis se degradan las sustancias producidas en etapas anteriores hasta la producción de biogás.

La digestión anaerobia se puede realizar en un amplio rango de temperaturas, destacando dos rangos posibles, hasta 35 °C donde actuarán las bacterias mesófilas y por encima de esa temperatura donde actuarán las bacterias termófilas. El proceso de digestión se lleva a cabo en digestores.

Como ya hemos comentado el producto principal de la digestión anaerobia es el biogás. El rendimiento, es decir, el volumen de biogás producido por unidad de material digerible es variable, depende tanto de las características de la materia prima como de las condiciones del proceso de digestión: temperatura, tiempo de retención (normalmente 21 días) y tipo de digestor.

Las formas más habituales de aprovechamiento del biogás son la aplicación directa como fuente de calor (cocina, alumbrado), aprovechamiento del calor para calefacción en general y la utilización como combustible en motores de combustión interna acoplados a generadores de energía eléctrica. La obtención de este biogás ayuda a reducir las emisiones de metano, frenando las emisiones contaminantes y ayudando a la producción de energía, por tanto es un uso de la biomasa que debe ser promocionado.

En la siguiente tabla resumo los principales procesos a los que se somete a la biomasa y las aplicaciones que se consiguen:

| Procesos de transformación de la biomasa | Aplicación  |
|--|---|
| Combustión                               | Producción de calor para uso doméstico e industrial (calderas de agua y aire caliente)<br>Producción de energía eléctrica |
| Fermentación alcohólica                  | Producción de etanol para uso como biocombustible o disolvente  |
| Digestión anaerobia                      | Producción de biogás para usos domésticos de calefacción y como combustible   |

**Tabla 7. Fuente: elaboración propia**

#### Cultivos energéticos

Se trata del cultivo de cosechas atendiendo al valor que poseen según su potencial energético. La selección de áreas potenciales para introducir cultivos energéticos se ha llevado a cabo con criterios topográficos, climáticos y socioeconómicos, mientras que la selección de los potenciales cultivos energéticos se realiza estudiando las siguientes variables: área de producción, producción potencial, periodo de cosecha, coste de los cultivos, uso energético potencial, poder calorífico interior y densidad. Mediante el estudio de los parámetros anteriores se han elaborado cartografías, para distintas regiones de España, que incluyen la siguiente información:

- 1.- Áreas de introducción potencial, tanto en zonas de regadío como de secano
- 2.- Mapas de producción de biomasa para cada especie seleccionada
- 3.- Mapas de volumen de biomasa para cada especie seleccionada
- 4.- Precios de la biomasa para cada especie seleccionada

Los principales beneficios que se obtienen de la implantación de estos cultivos energéticos son: prevención de la erosión, sobretodo en aquellas zonas donde los usos del suelo no ofrecían una protección adecuada del mismo (como el caso de los pastos secos procedentes del abandono de cultivos); disminución del riesgo de incendio forestal, principalmente cuando los cultivos reemplazan ecosistemas de matorral no sujetos a labores silvícolas; aumento de la biodiversidad ya que los periodos de cosecha de los cultivos energéticos son más largos que los convencionales; el desarrollo, recogida y uso de los recursos de biomasa fortalece la economía local, justo al revés de lo que sucede cuando se importan los suministros energéticos; las actividades relacionadas con los cultivos energéticos generan la aparición de nuevos puestos de trabajo; en las áreas rurales el nuevo recurso económico puede frenar la emigración masiva, etc...

Las principales limitaciones son las siguientes: incremento de la contaminación química por el uso de fertilizantes y pesticidas para el caso de los cultivos tratados; afectación variada del paisaje que altera sus condiciones naturales; inconvenientes relacionados con una mala gestión de los recursos; la rentabilidad que se obtiene al sustituir los cultivos convencionales por energéticos es escasa y provoca, en muchas ocasiones, que por pocos obstáculos adicionales que aparezcan se desestime dicha sustitución; el mercado de la bioenergía no está completamente desarrollado así que las reacciones entre la demanda y el precio final no son previsibles; los métodos de cultivo y las tecnologías no están suficientemente desarrollados como para competir con los combustibles fósiles.

En la siguiente tabla resumo lo comentado:

| <b>Cultivos energéticos</b>                               |   |
|---|---|
| <b>VENTAJAS</b>   | <b>INCONVENIENTES</b>                           |
| 1.- Prevención de la erosión                              | 1.- Aumento contaminación química               |
| 2.- Disminución del riesgo de sufrir incendios forestales | 2.- Alteración de las condiciones naturales     |
| 3.- Aumento de la biodiversidad                           | 3.- Rentabilidad escasa                         |
| 4.- Fortalecimiento de la economía local                  | 4.- Mercado no desarrollado                     |
| 5.- Aparición de nuevos puestos de empleo                 | 5.- No competitivo con los combustibles fósiles |
| 6.- Ayuda a frenar la emigración masiva                   |   |

**Tabla 8. Fuente: elaboración propia**

Los cultivos energéticos se clasifican en leñosos y herbáceos. Los primeros se destinan para obtener productos similares a los obtenidos con los residuos forestales, que reciben tratamientos idénticos a aquéllos (combustión principalmente). Los herbáceos que están destinados al consumo directo son tratados igual que los residuos agrícolas (combustión, fermentación alcohólica,...), mientras que los herbáceos destinados a la fabricación de biocombustibles reciben tratamientos especiales: el bioetanol se puede obtener a partir de cereales (trigo blando, cebada, maíz), materias primas con alto contenido en azúcares simples (remolacha) y en azúcares compuestos;

mientras que el biodiesel se produce a partir de los ésteres metílicos obtenidos a partir de cultivos con alta riqueza en grasa como el girasol o la colza.

Los recursos de biomasa disponibles según el Plan de Fomento de las energías renovables ascienden a 18.490 ktep (kilotoneladas equivalentes de petróleo) distribuidas del siguiente modo: 5.700 ktep procedentes de cultivos energéticos principalmente herbáceos y leñosos, 10.400 ktep de biomasa residual: agrícola, ganadera, forestal y de industrias relacionadas, 1.200 ktep de aprovechamiento eléctrico de residuos sólidos urbanos, 550 ktep de biogás procedente de residuos ganaderos, vertederos controlados, lodos de depuradora e instalaciones industriales y 640 ktep de biocarburantes.

Las principales ventajas de usar biomasa para usos energéticos son las siguientes: el balance de dióxido de carbono emitido es neutro ya que, como he comentado, el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión de biomasa forma parte del ciclo del carbono natural en la Tierra sin significar un aporte adicional, no emite contaminantes nitrogenados ni sulfurados y apenas emite partículas sólidas, como ya he explicado, parte de la biomasa procede de materiales residuales que es necesario eliminar (transformamos un residuo en un recurso), disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles, la tecnología para su aprovechamiento se encuentra en un buen grado de desarrollo, es un importante campo de innovación tecnológica y permite la posibilidad de usar tierras abandonadas por exigencias de la política agraria común, además de otros efectos como el paliar la creciente desertización de nuestros suelos.

En contraposición a lo que acabamos de explicar, mencionar los problemas relacionados con la planificación de la recogida de materias primas, en el caso de cultivos energéticos y de residuos de cultivos y forestales, dificultades asociadas con la dispersión espacial del recurso, la abundancia de productores, la variabilidad de la producción, la necesidad de espacios grandes de almacenamiento y planificación adecuada para automatizar sus operaciones; dificultades asociadas a la falta de conexión entre los agentes más implicados: sector agropecuario, energético e industrial, insuficiencias de acciones de demostración y apoyo a proyectos que fomenten el aprovechamiento energético de la biomasa y falta de información de los recursos y las tecnologías disponibles.

En la siguiente tabla resumo las principales ventajas e inconvenientes del empleo de biomasa con fines energéticos:

| <b>Biomasa para usos energéticos</b>   |  |
|--|--|
| <b>VENTAJAS</b>  | <b>INCONVENIENTES</b>  |
| <p>1.- Disminuye la dependencia del abastecimiento de combustibles</p> <p>2.- En la mayoría de las aplicaciones no se provocan emisiones de gases contaminantes</p> <p>3.- Valorización de los residuos: los transformamos en materias primas</p> <p>4.- Uso de tierras abandonadas por exigencias</p> | <p>1.- Dispersión espacial de los recursos</p> <p>2.- Variabilidad temporal de la producción</p> <p>3.- Mala planificación y transporte de las materias primas</p> <p>4.- Para aprovechar el contenido energético se debe someter a procesos de transformación previos</p> |

|           |   |
|-----------|---|
| de la PAC | 5.- Falta de conexión entre los agentes implicados<br>6.- Grandes espacios para el almacenaje |
|-----------|---|

**Tabla 9. Fuente: elaboración propia**

Como era de esperar, dada la gran variedad de productos que se derivan de la biomasa, las aplicaciones posibles también son numerosas:

1.- Según la producción:

para la producción térmica se suelen usar los productos obtenidos mediante la combustión directa, aunque en ocasiones también se usa biogás

para la producción eléctrica se usan los productos obtenidos mediante la combustión directa. Esta aplicación está todavía poco extendida en España, ya que se enfrenta a problemas como la necesidad de suministrar el combustible de forma estable o una inversión inicial elevada. Estos y otros obstáculos ya los trataré en otro apartado de esta tesina.

2.- Según los sectores:

para el sector doméstico se han usado tradicionalmente estufas y hornos. Actualmente se están haciendo avances en la mejora de los equipos y su eficiencia, características del combustible,... lo cual puede ser una oportunidad para los productos de biomasa. También se empiezan a usar calderas de biomasa para calefacción de centros públicos y comunidades de vecinos.

para el sector industrial se viene aplicando biomasa a instalaciones como hornos cerámicos, secaderos y calderas.

en el sector transportes se están usando los biocombustibles de origen vegetal que, aunque en España es un subsector poco desarrollado, se dispone de la tecnología suficiente para desarrollarlo. Se suele usar bioetanol para la combustión de motores de gasolina, y biodiésel mezclado con gasoil para los motores diesel. La demanda potencial en este sector es elevada, sobretodo para acabar con la dependencia de los combustibles fósiles, pero tiene un dudoso futuro puesto que se está poniendo en tela de juicio que dichos biocombustibles sean una alternativa “verde” y respetuosa con el medio ambiente.

#### **4.6.- Energía mareomotriz**

El movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones del Sol y de la Luna, es lo que se conoce como marea. Es decir, principalmente las mareas se forman por fenómenos astronómicos, pero debido a variables como la desigual superficie entre mares y tierras, los accidentes del fondo marino y de la costa, los fenómenos meteorológicos, etc..., la intensidad real de las mareas es, en muchos lugares, bastante mayor que la máxima teórica. Para poner de relieve esta situación mencionar que hay lugares del globo en los que la diferencia entre pleamar y bajamar (amplitud de la marea) alcanza escasamente 1 m, y en cambio, en otras zonas la variación puede alcanzar los 15 m.

Para poder aprovechar el potencial energético de las mareas se usan las centrales mareomotrices. Su funcionamiento consiste en retener las aguas en un depósito artificial

mientras dura la pleamar y soltarla durante la bajamar. Al igual que lo explicado para la energía hidráulica, el agua pasa a través de unas turbinas para generar energía eléctrica. Dichas centrales se suelen construir en los estuarios alrededor de las costas, y la construcción más sencilla se compone de un dique de contención en la parte estrecha del estuario.

La forma más simple de operar en una central mareomotriz es mediante un ciclo elemental de efecto simple: en la pleamar se cierran las compuertas, cerrando al estuario, de tal forma que cuando baje la marea se establecerá una diferencia de niveles de agua, entrando en funcionamiento la turbina hasta que, debido a la siguiente marea, los niveles se vuelvan a igualar. Es decir, se producirá un llenado durante la marea ascendente (compuertas abiertas), se cierran las compuertas y se espera a que baje la marea, y finalmente, se producirá energía con las turbinas como consecuencia de la diferencia de nivel establecida. Para generar una potencia de una forma más continua, sin tener que esperar a las pleamares y las bajamares, se han propuesto variaciones de este esquema: ciclo de doble efecto, con turbinas reversibles, así la producción se produce tanto durante el llenado como durante el vaciado; ciclo múltiple, mediante la construcción de distintos diques que sumen sus efectos; aprovechar los instantes de excedentes de energía para bombear el agua hacia el interior del dique y aumentar así la futura diferencia de niveles, al igual que se hace en las centrales hidráulicas reversibles, etc... No obstante, la explotación de energía del océano no es ningún asunto simple, aunque sólo sea porque las posibilidades de realizar centrales mareomotrices varían región a región.

El principal problema para usar la energía mareomotriz como suministradora de energía eléctrica es la diferencia entre los ciclos naturales de las mareas y la variación diaria de la demanda energética. No obstante, la cantidad global de energía de las mareas es suficientemente elevada como para incitar a amplios programas para desarrollar técnicas adecuadas para los grandes proyectos mareomotrices. Además, la elevada vida útil de estas centrales (75 años o más) y un nulo coste de combustible, convierten a este tipo de energía renovable en una apuesta bastante atractiva. Uno de los sitios del mundo idóneos para la construcción de centrales de este tipo es el estuario del río Rance, en Francia occidental, con una diferencia media entre la bajamar y la pleamar de unos 8 metros. La primera central eléctrica de mareas del mundo empezó a funcionar allí en 1966, y continua siendo la mayor del mundo, con una capacidad de 240 MW.

#### **4.7.- Energía mareomotérmica**

El mar cubre las tres cuartas partes de la superficie del planeta, y es particularmente extenso en las zonas tropicales. Por este motivo, gran parte de la radiación solar incidente se acumula en forma de calor en la superficie de los océanos. La superficie del mar (capa de entre 100 y 200 m de espesor) funciona como un inmenso colector de calor y asegura el almacenamiento térmico, con temperaturas comprendidas entre los 25 y los 30 °C. Después encontramos una zona donde la temperatura varía muy rápidamente, entre los 200 y los 400 metros de profundidad, actuando como una barrera térmica. Finalmente tenemos una capa de aguas profundas

en la que la temperatura decrece progresivamente hasta alcanzar los 4°C en los 1000 m. y los casi 0°C en los 4000 m. Este gradiente térmico constituye una enorme fuente potencial de energía. No obstante, debemos conocer el rendimiento del proceso de aprovechamiento, que está basado en un ciclo termodinámico: aplicando las condiciones más favorables, gradiente de 30 a 4 °C, obtenemos un rendimiento del 9 %; pero si añadimos los problemas asociados a las distintas eficacias de los elementos de una central maremotérmica (cambiadores de calor, turbinas, generadores) el rendimiento se reduce al 2-3 %. Como sucede con otros tipos de energías renovables, el bajo rendimiento es un problema asumible debido al gran volumen del “yacimento” energético y a su carácter limpio y respetuoso con el medio ambiente.

La mayoría de centrales maremotérmicas se construyen en zonas donde el gradiente térmico es al menos de 18°C a profundidades máximas de 1000 m, es decir, en la mayoría de regiones ecuatoriales y subtropicales. Además también se deben considerar otras variables como las condiciones marinas, las meteorológicas o las batimétricas para decidir el emplazamiento.

Para producir energía eléctrica a partir de los gradientes térmicos oceánicos se usan las centrales maremotrices: no son más que una máquina térmica cuya fuente de calor es el agua superficial, cuyo refrigerante es el agua extraída de las profundidades y se basan en el proceso de un ciclo termodinámico. Para transformar la energía térmica en energía eléctrica se usa un ciclo termodinámico de Rankine: el calor produce que el fluido experimente un cambio de fase en el momento en que entra en la etapa de expansión de la turbina.

Una central maremotérmica funciona de la siguiente manera: el fluido de trabajo, ya sea el agua cálida superficial u otro fluido con mejores características para la transmisión de calor, pasa a través del evaporador donde se evapora. Este fluido en fase vapor atraviesa una turbina, donde su expansión generará energía mecánica. Esta energía mecánica impulsará un generador eléctrico para generar corriente eléctrica. Tras abandonar la turbina, el vapor a baja presión se condensará en un cambiador de calor refrigerado por el agua fría de las profundidades. Este fluido en estado líquido se bombeará al evaporador para reiniciar el ciclo.

El principal problema para desarrollar la energía maremotérmica es disponer de un adecuado programa de desarrollo para conseguir aplicaciones comerciales a media y gran escala y fomentar un mayor intercambio internacional de tecnologías al respecto.

#### **4.8.- Perspectivas y aplicaciones de otras tecnologías sostenibles:**

##### 4.8.1.- Pilas de combustible

Es de esperar que, a largo plazo, las pilas de combustible sustituyan a la mayoría de los sistemas de combustión por varios motivos: menores costes, contaminación escasa o nula, adecuación a la producción eléctrica descentralizada y mayor rendimiento.

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma la energía química de reacción directamente en energía eléctrica. Son unos dispositivos capaces de ir produciendo energía eléctrica si se mantiene el suministro de combustible y oxidante a los electrodos. El principio de funcionamiento es justo el inverso de la

reacción electrolítica, es decir, la reacción que tiene lugar es la combinación del oxígeno y el hidrógeno para formar agua, energía eléctrica y desprendimiento de calor. El único subproducto de la reacción es el vapor de agua, que puede eliminarse a la atmósfera sin ningún peligro para el medio ambiente. Además de hidrógeno puro pueden emplearse como combustibles otras fuentes de gasolina, como el metanol o el etanol que tan sólo precisarían de un tratamiento adecuado para adaptarlos a los diferentes tipos de pilas de combustible.

Existen varios tipos de pilas de combustible:

*Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones*

Constituyen el tipo más avanzado de pila de combustible. Trabajan entre los 80 y los 150 °C, con rendimientos del 40-60 % y utilizando gas natural, metanol o hidrógeno como combustible. Sus usos en el sector transportes son numerosos y contribuirían a rebajar el alto grado de emisiones contaminantes que, en la actualidad, genera este sector. Se ha empezado ya a investigar en vehículos que funcionan con pilas de combustible, en particular Daimler Chrysler ha destinado un presupuesto de 1500 millones de euros para 7 años. Se cree que los costes podrían llegar a los 150 euros/kW, no obstante, si se pudiera rebajar este valor a 50 euros/kW las pilas de combustible también podrían usarse para aplicaciones urbanas, sustituyendo las calderas que sólo proporcionan calor por pilas de combustible que produjeran calor y electricidad.

*Pilas de combustible de óxido sólido y de carbonato molido*

Pueden trabajar a temperaturas muy superiores a las anteriores (700-1000 °C) y suelen usar gas natural o hidrógeno como combustible. Para la generación de electricidad pueden conseguir rendimientos del 70-80 %. Posiblemente resulten más caras de construir que las anteriores, ya que los métodos de fabricación a alta temperatura son más caros y se requiere de 5 a 10 veces más superficie de pila por kW, provocando costes más elevados. El objetivo de coste a largo plazo es alrededor de los 500 euros/kW. Las aplicaciones previstas son la producción descentralizada de electricidad y la cogeneración para la industria.

*4.8.2.- Electrolizadores / hidrógeno*

El hidrógeno es el combustible más limpio, al entrar en combustión con el oxígeno sólo genera vapor de agua. La aplicación del hidrógeno como combustible se usa, desde hace tiempo, en los programas espaciales; otras aplicaciones se encuentran sólo en una fase experimental.

Este compuesto químico no se encuentra en estado libre en la naturaleza, se debe obtener a partir de algún tipo de energía primaria, es decir, se debe considerar que el hidrógeno es un portador de energía, al igual que la electricidad: ambos se obtienen a partir de una fuente de energía primaria y son limpios en el punto de consumo.

Los electrolizadores usan electricidad para producir hidrógeno a partir del agua, comportándose como pilas de combustible inversas. Esta tecnología se desarrollará ampliamente cuando la electricidad obtenida a partir de fuentes renovables obtenga excedentes y se utilice el hidrógeno como medio de almacenamiento. Los

electrolizadores pueden generar hidrógeno con rendimientos del 90 %. El coste actual es muy elevado pero se piensa que se puede reducir a unos 100-200 euros/kW.

Otra opción para obtener hidrógeno es a partir de los hidrocarburos, sobretudo a partir del gas natural (cuyo principal componente es el metano), ya que este hidrocarburo es el que tiene una mayor proporción de hidrógeno en su molécula. Se somete al gas natural a un proceso catalítico que permite liberar el hidrógeno de las moléculas de metano. En este proceso se producen varias reacciones químicas que, además de hidrógeno, también generan otros gases, como el CO o el CO<sub>2</sub> que se deben eliminar hasta conseguir hidrógeno de una pureza superior al 99,99 %. Esta eliminación, que normalmente se hace por captura y posterior almacenamiento subterráneo, eleva los costes en gran medida. Una vez obtenido el hidrógeno se comprime hasta presiones de 350 bar y se almacena en baterías cilíndricas. Este almacenamiento se hace necesario porque el ciclo se produce de forma continua mientras que el consumo es discontinuo. Este hidrógeno puede alimentar el sistema de propulsión del vehículo produciendo como único residuo agua.

Pero la principal aplicación es la de usar el hidrógeno como medio de almacenamiento, resolviendo el problema del carácter intermitente de la energía eólica, la energía fotovoltaica y la energía solar térmica.

La electrolización del hidrógeno funciona como una pila de combustible inversa, las pilas de combustible pueden almacenar la energía, por tanto el hidrógeno se puede usar para adaptar el suministro de electricidad a la demanda. A largo plazo se espera que la eficiencia general de este “almacenamiento de electricidad” llegue al 55 %. Con este almacenamiento se podría conseguir que las fuentes renovables de energía de carácter intermitente estuvieran disponibles en cualquier momento y a un coste de unos 0,06 a 0,12 euros/kWh, suponiendo unos costes de almacenamiento inferiores a los 400 euros/kWh.

Estos son los principales tipos de energías renovables existentes y las tecnologías sostenibles más novedosas. En los próximos capítulos explicaré cuáles son los mecanismos legales, administrativos, fiscales, etc... para fomentar el desarrollo e implantación de dichas energías, cuál es el estado actual de desarrollo y cuáles han sido las experiencias más destacadas en la explotación de los recursos solares o renovables en los países más avanzados por lo que respecta a estas tecnologías.

