

## **Documento del Grupo de Trabajo de Conama 10**

### **Geotermia: energía renovable de futuro**

#### **ENTIDAD COORGANIZADORA:**

**Ilustre Colegio Oficial de Geólogos**

#### **PARTICIPANTES**

##### **Coordinador:**

- Rafael Varea Nieto. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

##### **Relatores:**

- Juan Antonio de Isabel García. Geoter
- Raúl Hidalgo. Petratherm
- Iñigo Ruiz Ayesta. BEST

##### **Colaboradores técnicos:**

- Andrés Noguera Pelayo. Ministerio de Justicia
- Carlos Rodríguez Casals. Fundación CONAMA
- Carlos Egido Ramos. Geoter
- Carmen María Roa Tortosa. IDAE
- Celestino García de la Noceda Márquez. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
- Cristina de Santiago Buey. Centro de Estudios del Transporte perteneciente al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
- Elisabet Palomo Torrejón. Industrias REHAU, S.A.
- Fernando López Vera. Universidad Autónoma de Madrid
- Francisco Javier Gonzalo Corral. S.A. Minera Catalano-Aragonesa
- Gemma Callejo Córdoba. Bureau Veritas
- Gorka Goiri Celaya. Vaillant Group
- Iñaki Etxebarria. Ugarriza
- Iñigo Arrizabalaga. Telur
- Isabel Suárez Díaz. Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Centro de España
- Javier Urchueguia. Universidad de Valencia
- Joan Escuer Solé. Colegio de Geólogos de Cataluña
- José Sánchez Guzmán. Tecnología y Recursos de la Tierra
- José Luís Alperi Jove. Fundación INFIDE

- José Manuel Vegas. Industrias REHAU, S.A.
- José María Egido Manso. Geoter
- Manuel Andrés Chicote - Técnico de la Secretaría Técnica de GEOPLAT
- Manuel Regueiro y González Barros. ICOG
- Margarita de Gregorio. GEOPLAT
- María del Carmen López Ocón. IDAE
- Roberto Andrés Vallejo. Endesa
- Virginia Ormaetxea. Colegio Oficial de Geólogos de Euskadi

## ÍNDICE DEL DOCUMENTO

### **0. INTRODUCCIÓN. GEOTERMIA: ENERGÍA RENOVABLE DE FUTURO**

#### **I. DOCUMENTO DE GEOTERMIA PROFUNDA**

- I.1 Qué es la geotermia profunda**
- I.2 Antecedentes y situación en europa y el mundo**
- I.3 Retos de investigación: tecnologías, aplicaciones y metodología (investigación básica, perforación, estimulación)**
- I.4 Medidas de impulso para el desarrollo de la geotermia profunda**
- I.5 Sostenibilidad**
- I.6 Beneficios de la geotermia**
- I.7 Rendimientos económicos**
- I.8 Marco legal administrativo**
- I.9 Conclusiones**
- I.10 Bibliografía**

#### **II DOCUMENTO DE GEOTERMIA SOMERA**

- II.1 Qué es la geotermia somera**
- II.2 Antecedentes y situación en Europa y el Mundo**
- II.3 Retos de investigación: Tecnologías, aplicaciones, metodología**
- II.4 Medidas de impulso para el desarrollo de la geotermia somera**
- II.5 Sostenibilidad**
- II.6 Beneficios de la geotermia.**
- II.7 Rendimientos económicos.**
- II.8 Marco legal.**
- II.9 Conclusiones**
- II.10 Bibliografía**

#### **III USOS TÉRMICOS Y APLICACIONES DE LA GEOTERMIA**

- III.1 Generalidades**
- III.2 Aplicaciones**
- III.3 Optimización de la eficiencia. Hibridación**
- III.4 Legislación, subvenciones y otros modelos de negocio**
- III.5 Conclusiones**
- III.6 Bibliografía**

## 0. INTRODUCCIÓN. GEOTERMIA: ENERGÍA RENOVABLE DE FUTURO

La Tierra es el planeta donde habitamos, trabajamos, nos desplazamos; el planeta donde vivimos y el que nos facilita la energía para poder desarrollarnos. Siempre hemos utilizado los recursos de la Tierra para poder sobrevivir; la madera, el carbón, el petróleo, el gas, etc. Todos ellos son fuentes de energía que nos han ayudado a subsistir, pero son recursos limitados, finitos en el tiempo, cuya explotación está provocando efectos nocivos sobre la salud y el medioambiente comprometiendo el futuro de nuestro planeta. El resultado es un contexto energético actual con una imperiosa necesidad de reducir la dependencia exterior, de mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles, y con la creciente sensibilización ambiental de la sociedad.

Con el nuevo siglo se imponen nuevas formas de aprovechamiento energético, nuevas formas de energía que nos permitan vivir y conservar nuestro planeta. Estas fuentes de energía son las energías renovables, que junto con el ahorro y la eficiencia energética se están convirtiendo en respuestas estratégicas a los importantes problemas planteados.

Dentro de estas nuevas alternativas aparece un gran desconocido: el aprovechamiento térmico del interior de la Tierra, la fuente de energía que conocemos como GEOTERMIA.

La Geotermia es el objeto de este documento dividido en tres apartados principales. Los dos primeros hacen referencia a las características propias de cada uno de los dos tipos que más claramente se suelen diferenciar dentro de esta fuente de energía (geotermia profunda y geotermia somera); y el tercero de ellos se centra en la descripción más detallada de las aplicaciones térmicas que la geotermia ofrece en una gran variedad de ámbitos, así como de otros aspectos relacionados con estas aplicaciones, tanto en Geotermia Somera como en Geotermia Profunda.

Antes de entrar a presentar más en profundidad estos contenidos (origen, tecnologías existentes de aprovechamiento, beneficios de toda índole, aplicaciones, etc.), vamos a presentar un conjunto de definiciones y conceptos de carácter general que ayudan a tener un primer acercamiento a todo aquello que rodea a esta fuente de energía.

La Directiva Europea de Energías Renovables (*Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*) establece una definición clara de la Energía Geotérmica. Conviene también reseñar algunas otras definiciones que establece la Directiva:

Concepto	Definición
<b>Energía Geotérmica</b>	Energía almacenada en forma de calor bajo la superficie del terreno.
Energía Aerotérmica	Energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente.
Energía Hidrotérmica	Energía almacenada en forma de calor en las aguas superficiales.

Por otra parte, se pueden considerar otras definiciones consensuadas en el seno de la Plataforma Tecnológica Española de Geotermia e incluidas en su 'Documento de Visión a 2030' y que pueden resultar de interés en este punto:

Concepto	Definición	Descripción/Características
<b>Geotermia</b>	Disciplina que estudia el calor terrestre, su origen, su distribución y su aprovechamiento	Abarca, por tanto, los procesos y técnicas utilizadas para la exploración, evaluación y explotación de la energía geotérmica.
<b>Recurso Geotérmico</b>	Parte de la energía geotérmica que puede ser aprovechada de forma técnicamente y económicamente viable	Incluye, no sólo los que son actualmente conocidos y cuyo aprovechamiento es viable técnica y económicamente, sino los que lo serán en un futuro aceptablemente cercano.
<b>Yacimiento Geotérmico</b>	Espacio físico en el interior de la corteza terrestre en el que se sitúa un recurso geotérmico	
<b>Recursos Geotérmicos de Alta Temperatura</b>	Su temperatura es superior a los 150 °C	Pueden estar constituidos por vapor seco (casos muy escasos) o por una mezcla de agua y vapor. Se aprovechan fundamentalmente para la producción de electricidad. Se localizan principalmente en zonas con gradientes geotérmicos elevados. Se sitúan a profundidades muy variables; son frecuentes profundidades entre los 1.500 y los 3.000 metros. Un caso singular (aunque muchas veces se trata de recursos de media temperatura) es el de los recursos de roca caliente seca (HDR - <i>Hot Dry Rock</i> ), englobados entre los sistemas geotérmicos estimulados (EGS - <i>Enhanced Geothermal Systems</i> ), en los que se crea en el macizo de roca profundo una zona de intercambio térmico mediante la estimulación de sus fracturas.
<b>Recursos Geotérmicos de Media Temperatura</b>	Su temperatura se encuentra entre los 100 °C y 150 °C	Permite, por tanto, ser aprovechados en centrales de generación eléctrica, pero la conversión vapor-electricidad se realiza con un rendimiento menor, ya que requiere la utilización de un fluido intermedio de menor temperatura de vaporización. También puede ser utilizado para uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos y en procesos industriales. Pueden localizarse en zonas con un gradiente geotérmico elevado a profundidades inferiores a 1.000 metros, y en cuencas sedimentarias a profundidades entre los 2.000 y los 4.000 metros.
<b>Recursos Geotérmicos de Baja Temperatura</b>	Su temperatura se encuentra entre 30 °C y 100 °C	Su utilización se centra en los usos térmicos en sistemas de calefacción/ climatización y ACS urbanos, y en diferentes procesos industriales. Los fluidos geotérmicos raras veces son usados directamente, lo más frecuente es el aprovechamiento de su energía mediante intercambiadores o mediante bomba de calor.

Concepto	Definición	Descripción/Características
		<p>Suelen requerir una demanda importante de energía calorífica en las proximidades.</p> <p>Se localizan habitualmente en zonas con un gradiente geotérmico normal a profundidades entre 1.500 y 2.500 metros, o a profundidades inferiores a los 1.000 metros en zonas con un gradiente geotérmico más elevado.</p>
<b>Recursos Geotérmicos Someros o de Muy Baja Temperatura</b>	Energía almacenada en el terreno o en las aguas subterráneas a temperaturas inferiores a 30 °C	<p>Las temperaturas de estos recursos suelen acercarse a la media anual del lugar donde se captan.</p> <p>Aprovechan energía térmica almacenada en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- el subsuelo poco profundo (normalmente menos de 250 metros, incluyendo aquellas captaciones del calor que van asociadas a elementos constructivos de la edificación).</li> <li>- las aguas subterráneas incluidas las provenientes de labores mineras y drenajes de obras civiles, siempre para su uso exclusivamente energético y no consuntivo del agua.</li> </ul> <p>Usos térmicos. Aporte energético a los sistemas de ventilación, calefacción, refrigeración de los locales y/o procesos, con o sin utilización de una bomba de calor.</p> <p>La energía renovable se puede captar de manera muy eficiente dada la estabilidad térmica del subsuelo frente a la oscilación estacional del ambiente.</p>

*Fuente: 'Documento de Visión a 2030'. Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT)*

La utilización de la energía geotérmica como fuente energética si bien es nueva en nuestro país, viene siendo una referencia válida en otros países, sobre todo en aquellos ubicados en zonas más frías que la nuestra.

Pero la utilización de esta fuente como absorbente de calor, generando frío en las instalaciones abre un inmenso futuro dentro de nuestro país.

Tradicionalmente, cuando en este país hemos hablado de energías renovables, los debates se han centrado sobre todo en energía solar y la eólica. Pero hay que entender que cada fuente energética renovable tiene sus ventajas de utilización y sus inconvenientes, debiendo utilizar cada una de ellas en aquellas aplicaciones que más les favorezca.

Por ello, la energía geotérmica ha de ser considerada seriamente. Es una alternativa más que válida para procesos de generación de calor y refrigeración siendo de especial interés para la climatización de los edificios.

La aparición en nuestro país como alternativa energética sería es de unos pocos años. En el plazo de tres años ha pasado de ser una fuente energética desconocida a ser una realidad en los procesos de climatización. Su interés y fuerza de aparición ha provocado que se abran muchas vías de introducción, y se preste a ser potenciada y extendida.

Han aparecido asociaciones para promover sus intereses, aparece por primera vez en los nuevos planes de energías renovables Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, se reconoce como alternativa en el CALENER y se considera como renovable a

efectos del Código Técnico de la Edificación (CTE), aparecen múltiples foros dando a conocer la tecnología, etc.

La creación dentro del APPA (Asociación de Productores de Energías Renovables) de las secciones de Geotermia de alta y baja entalpía (profunda y somera respectivamente), así como, la constitución en mayo de 2009 de la plataforma tecnológica española de geotermia (GEOPLAT), son ejemplos del creciente desarrollo de a energía geotérmica en nuestro país.

## I. DOCUMENTO DE GEOTERMIA PROFUNDA

### I.1 QUÉ ES LA GEOTERMIA PROFUNDA

La geotermia profunda comprende los recursos de media y alta temperatura localizados a grandes profundidades y que presentan flujos de calor importantes.

En función de la temperatura del recurso que éstos albergan se pueden distinguir:

- *Yacimientos de alta temperatura:* Son aquellos donde el foco de calor permite que el fluido se encuentre en condiciones de presión elevadas y temperaturas superiores a los 150 °C.
- *Yacimientos de media temperatura:* Son aquellos en los que los fluidos se encuentran a temperaturas entre los 100 y los 150 °C.
- *Yacimientos de baja temperatura:* Son aquellos en los cuales el fluido se halla a temperaturas por debajo de los 100 °C.

Atendiendo a su asociación geológica y tectónica, los sistemas geotérmicos se pueden clasificar en cuatro grupos fundamentales:

- Los asociados con vulcanismo activo (normalmente en zonas de subducción, zonas de dorsales oceánicas, sistemas de rift continental y puntos calientes)
- Zonas cratónicas estables con granitos térmicamente activos (generadores de calor radiogénico) acompañados de una cobertera sedimentaria lo suficientemente potente como para funcionar como aislante del calor disipado por el granito a la superficie
- Sistemas tectónicamente activos, aéreas extensionales y zonas de fracturación a gran escala que permitan la circulación profunda de fluidos.
- Cuencas sedimentarias con acuíferos profundos asociados.

Los usos de los recursos estudiados por la geotermia profunda se centran principalmente en la generación eléctrica y la producción de calor directo en función del nivel energético del foco disponible. Los recursos de alta temperatura son destinados fundamentalmente para producción de electricidad. Sin embargo, a medida que consideramos focos de menor temperatura, el proceso de generación es menos eficiente debido a la necesidad de intervención de fluidos intermedios. De este modo la utilización de los recursos de media temperatura se destina también a los usos térmicos de calefacción, climatización y ACS urbanos así como de distintos procesos industriales.

En todos estos ámbitos mencionados, la geotermia profunda entra en clara competencia con otros tipos de energías tanto fósiles como renovables, por lo que es interesante destacar a continuación algunos aspectos diferenciadores de la misma.

Se trata de una energía de carácter autóctono que favorece la reducción del grado de dependencia del sector energético exterior.

Los proyectos de geotermia profunda suponen un esfuerzo económico grande en las etapas iniciales de los mismos pero a continuación conllevan un coste de

operación claramente inferior al de otras tecnologías y desarrollan una larga vida útil en torno a los 30 años.

Es una energía gestionable y sostenible en tanto que ofrece un flujo constante de producción energética sin dependencia de variaciones estacionales como ocurre con gran parte de las energías renovables. De este modo esta energía aporta un claro refuerzo en la seguridad de suministro y a la estabilidad de la red.

Por último, cabe reseñar que los procesos de generación de electricidad, en sus diversas formas, constituyen habitualmente una de las actividades de mayor impacto ambiental. Los daños más importantes derivados de la utilización, transformación y transporte de la energía están asociados a las emisiones atmosféricas que provocan el calentamiento global del planeta, la contaminación de los medios acuático y terrestre y la generación de residuos. Sin embargo, en el caso de la energía geotérmica, los impactos medioambientales son destacablemente menores que los existentes en las centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energía renovables. Los residuos y emisión de gases que produce son muy bajos en comparación con otras fuentes térmicas de energía como se puede apreciar en la siguiente tabla.

	NO <sub>x</sub> g/kwh	SO <sub>2</sub> g/kwh	CO <sub>2</sub> g/kwh
Carbón	2	4,7	996
Petróleo	1,8	5,5	760
Gas natural	1,3	0,1	551
Geotermia (Flash)	0	0,1	27
Geotermia (Ciclo binario y flash/binario)	0	0	0

*Fuente: Geothermal Energy Association. Abril 2007*

Además las instalaciones de geotermia profunda ocupan un espacio reducido de terreno a la vista ya que la fuente de energía se encuentra en el interior de la Tierra y los equipos de generación eléctrica son muy compactos



## I.2 ANTECEDENTES Y SITUACIÓN EN EUROPA Y EL MUNDO

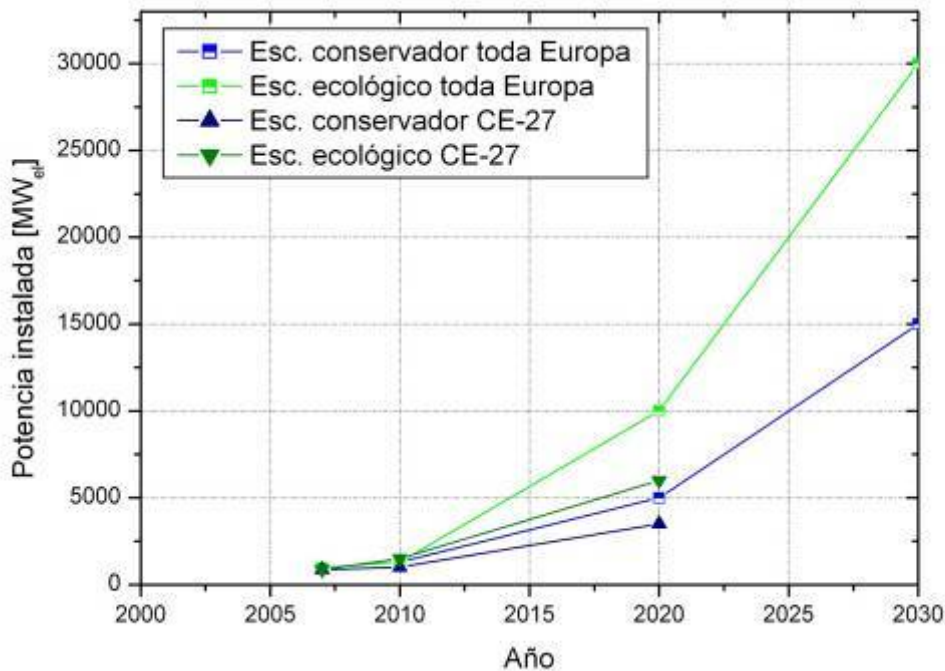
FECHAS CLAVE	HITOS HISTÓRICOS DEL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA PROFUNDA
1904	El primer experimento para producir electricidad a partir de la geotermia, fue desarrollado por el príncipe Piero Ginori Conti entre 1904 y 1905 en la Toscana italiana.
1913	Se pone en marcha la primera planta comercial de producción eléctrica (250 kW <sub>e</sub> ) en Larderello, Italia.
1928	Comienzo del aprovechamiento de recursos geotérmicos en Islandia para calefacción de viviendas.
1945	Existen referencias de circuitos abiertos con aguas subterráneas y bomba de calor en funcionamiento en EE.UU.
1958	Nueva Zelanda inaugura su primera planta geotérmica en <i>Wairakei</i> .
1960	Estados Unidos pone en marcha su primera planta comercial en Los Geiseros.
1973-1978	Se desarrolla con éxito en Los Álamos (EE.UU.) el primer experimento científico mundial de aprovechamiento geotérmico a partir de roca caliente seca.
1970-1985	Las crisis energéticas son las que provocan la inclusión por primera vez en España de la investigación geotérmica dentro de los planes nacionales de energía, dando como primer fruto en 1974 el Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas en el Territorio Nacional, elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España – IGME-.
1989-2008	Se desarrolla el proyecto científico de geotermia estimulada de Soultz-sous-Forêts, que es el germen de los actuales proyectos geotérmicos de generación eléctrica a nivel comercial en Europa.
2005-2010	A principios del siglo XXI la crisis del modelo energético es evidente. Los análisis desde todas las perspectivas del panorama energético: de Europa en general y de España en particular, convergen en la necesidad de fomentar el desarrollo y uso de las energías renovables, así como del ahorro y la eficiencia energética. Como consecuencia, se reactiva el sector geotérmico tanto en España, como en Europa y en el resto mundo.

### 2.1 Estado actual de la Geotermia Profunda

En 2007, la Europa de los 27 se aproximaba ya al umbral de los 1.000 MW de potencia instalada mientras que el resto de países europeos aportaron cerca de 500 MW. Los objetivos de potencia eléctrica instalada para Europa son de 6 a 10 GW para 2020 y 15 a 30 GW para el horizonte 2030. Estos objetivos sólo serán alcanzables con una adecuada reducción de costes en las diferentes tecnologías de generación.

	2007	2010	2020
Geotermia convencional (MW <sub>e</sub> )	815	920	1.200
Ciclos binarios baja temperatura (MW <sub>e</sub> )	15	70	300
EGS (MW <sub>e</sub> )	-	10	4.500
Capacidad instalada total (MW <sub>e</sub> )	830	1.000	6.000
Producción anual de energía (TWh)	6,5	8	50

Generación eléctrica con geotermia -EU27- (Fuente: 'Documento de Visión a 2030' GEOPLAT)



Potencia instalada para usos eléctricos en Europa (MW<sub>e</sub>) (Fuente: 'Research Agenda for Geothermal Energy. Strategy 2008 to 2030' - European Geothermal Energy Council, EGEC)

La principal tecnología existente en estos momentos es la denominada "convencional". Está relacionada con sistemas hidrotermales asociados, fundamentalmente, con áreas de vulcanismo activo aunque recientemente se ha comenzado a reconocer el potencial de las zonas asociadas a cuencas sedimentarias profundas y a zonas de roca caliente seca o sistemas geotérmicos estimulados EGS.

La geotermia convencional se viene desarrollando con éxito desde hace más de un siglo. La potencia eléctrica mundial instalada asciende en 2010 a 10.715 MW y la energía generada a 67.246 GWh/a. Los países líderes en el sector son Estados Unidos con 3.093 MW, más del 25% global y Filipinas con 1.904 MW, casi un 20% del total mundial; a éstos le siguen, Indonesia, Méjico, Italia, Nueva Zelanda, Islandia y Japón, (Bertani 2010)

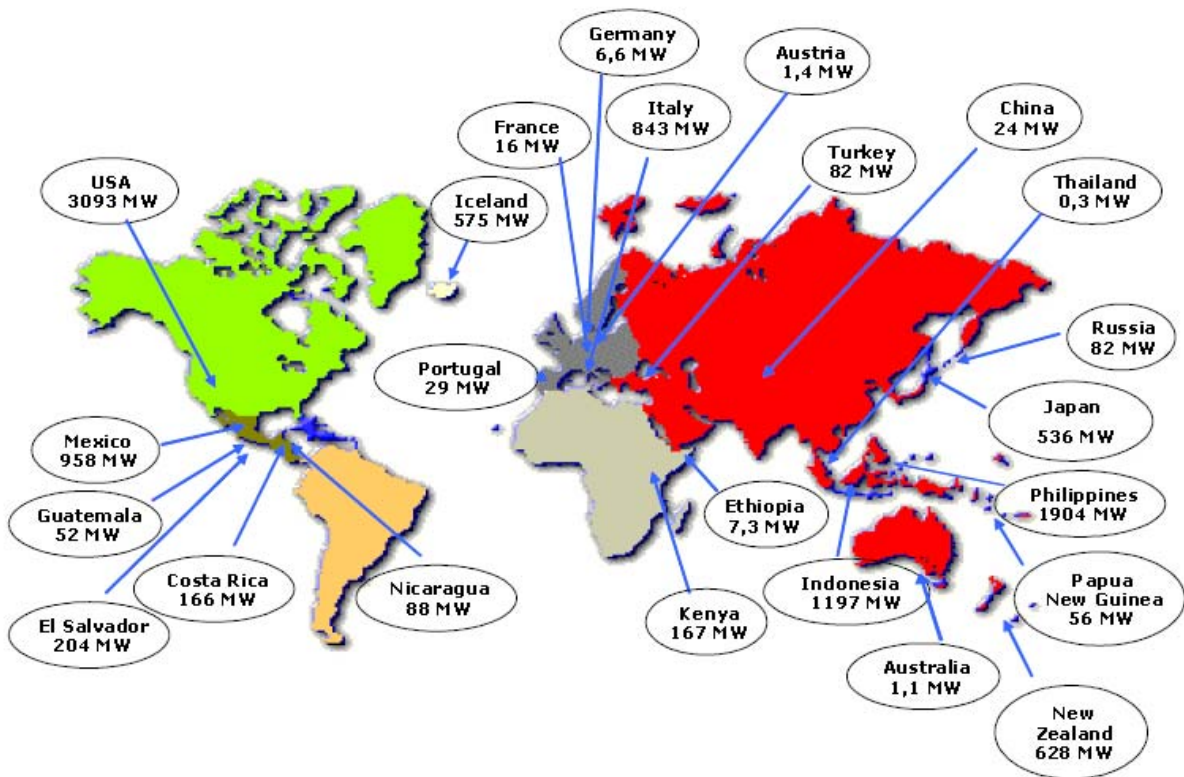
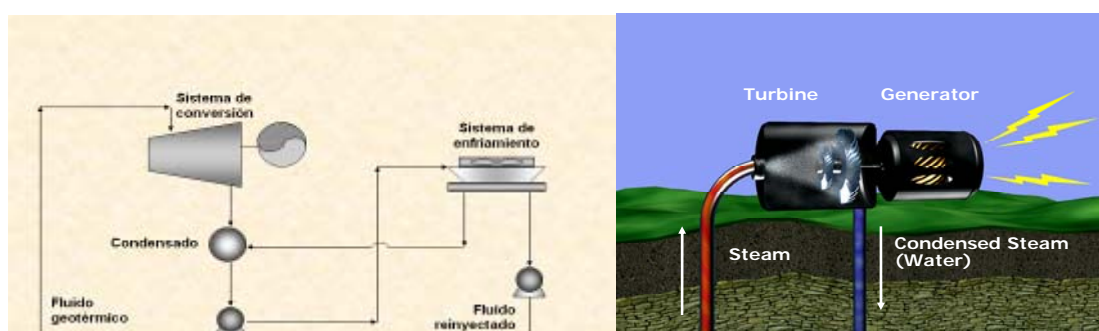


Figure 2: Installed capacity in 2010 worldwide [10.7 GW].

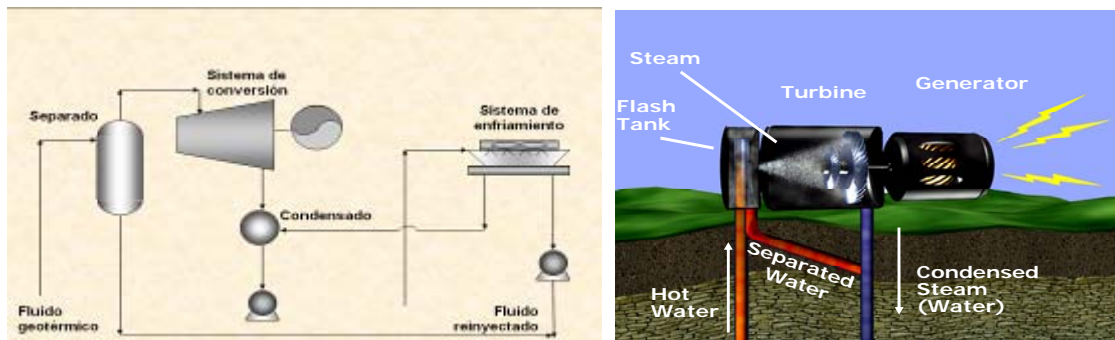
Su desarrollo se basa en la aplicación de tres tecnologías principalmente:

### PLANTAS DE VAPOR DIRECTO/SECO



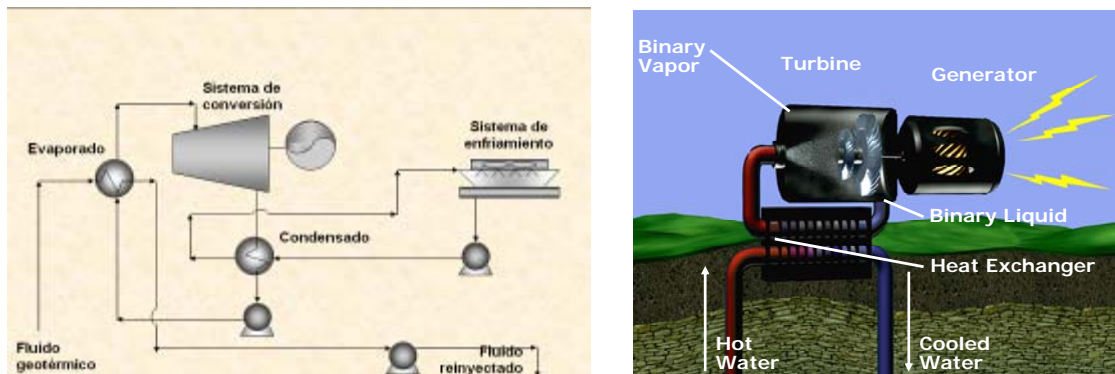
Las turbinas utilizan los recursos en forma de vapor en estado de saturación o ligeramente recalentado (vapor seco) que llegan a la superficie proveniente de las fracturas del suelo, para generar electricidad de forma directa. Lo que provoca que los costes de producción de la planta resulten muy bajos.

## PLANTAS FLASH



Son las indicadas para el aprovechamiento del recurso geotérmico de alta entalpía más común, que consiste en una mezcla de vapor y salmuera. En esta configuración el vapor primero se separa del líquido y posteriormente se expande en una turbina. La salmuera rechazada puede ser utilizada en otras aplicaciones como agricultura y procesos de calor industriales, haciendo uso de la técnica conocida como producción en cascada. Los sistemas de vapor doble-flash pasan la salmuera caliente por sucesivos separadores que se encuentran cada vez a menor presión. El vapor es dirigido a una turbina de doble entrada desde donde fluye a otra parte diferente de la turbina. Las ventajas de este sistema incluyen la mejora de la eficiencia total del ciclo y el mayor aprovechamiento del recurso geotérmico, aunque a cambio de un incremento del coste de producción.

## PLANTAS DE CICLO BINARIO



Pueden extraer energía de forma más eficiente de yacimientos de media temperatura ( $>100^{\circ}\text{C}$ ) y de recursos geotérmicos con elevada salinidad que las plantas flash, provocando un impacto medioambiental menor al no emitir gases a la atmósfera. Se basan en evitar el uso directo del fluido termal y utilizar un fluido secundario con un comportamiento termodinámico mejor que éste (bajo punto de ebullición y alta presión de vapor a bajas temperaturas). El fluido geotermal entrega el calor al fluido secundario a través de un intercambiador de calor, que se calienta, vaporiza y se expande a través de la turbina. Se condensa en un condensador de aire o agua y se bombea de nuevo al intercambiador de calor para ser re-vaporizado. Las turbinas binarias pueden ser de tipo Kalina o de tipo Orgánico Rankine (ORC).



## 2.2 Situación actual en España

### 2.2.1 Geotermia Convencional

Este tipo de geotermia está estrechamente relacionada con las aéreas de volcanismo activo que en España se circunscriben a las Islas Canarias. En este archipiélago aparecen algunas de las pocas manifestaciones geotérmicas superficiales visibles en nuestro país, tales como las fumarolas del Teide, donde el análisis de los gases emanados rebela la presencia de un sistema geotermal activo en profundidad bajo la superficie de Tenerife con rangos de temperatura comprendidos entre los 250 y 300°C (HERNANDEZ ET AL 2000).

### 2.2.2 Sistemas geotérmicos asociados a sedimentos profundos

Más del 50% de la España peninsular está constituida por las grandes cuencas cenozoicas que cubren granitos Hercínicos termalmente activos (ITGE 1991). La sobreimposición de importantes potencias de sedimentos con baja conductividad térmica sobre estos granitos productores de calor y la presencia de sedimentos permeables con fluidos abundantes en las proximidades del foco de calor constituyen un encuadre geológico adecuado para el desarrollo de sistemas geotérmicos asociados a sedimentos profundos

En diversas cuencas españolas (Madrid, Pirineos, Andalucía, etc.) se han llevado a cabo sondeos para la exploración petrolífera que han medido temperaturas superiores a los 150-180°C sobre 3500 y 4500 metros de profundidad.

### 2.2.3 Sistemas geotérmicos estimulados

Estos sistemas se localizan en zonas graníticas con fracturación profunda asociada, a través de las cuales circulan fluidos calientes que en superficie dan lugar a manifestaciones tales como los manantiales termales de Caldas de Montbui en Cataluña y Orense en Galicia con temperaturas de 75-80 (FERNANDEZ ET AL 1990). Las zonas profundas (por debajo de los 3000 metros) asociadas a estos sistemas convectivos son entornos favorables para el desarrollo de sistemas geotérmicos estimulados de media entalpía (por encima de 150°C). En zonas con baja permeabilidad se hará necesaria la estimulación de las fracturas preexistentes que permita la circulación de los fluidos a través de la roca caliente seca.

<b>Sistemas geotérmicos convencionales</b>		Islas Canarias
<b>Sistemas asociados a Sedimentos profundos</b>	<b>Cuencas cenozoicas</b>	Cuenca del Tajo: Madrid Cuenca del Duero: León, Burgos y Valladolid Cuenca del Guadalquivir
	<b>Cuencas intramontañosas</b>	Cordilleras Catalanas: Vallés, Penedés, La Selva y Ampurdán Béticas: Granada, Guadix, Baza, Cuencas internas pirenaicas: Jaca-Sabiñánigo
<b>Sistemas geotérmicos estimulados</b>		Asociados a basamento granítico cubierto por una cobertera suficientemente potente de sedimentos. Granitos térmicamente activos asociados a sistemas de fracturación profunda: Ej. Galicia.

*Tipologías de geotermia en España Modificado de (GARCIA DE LA NOCEDA ET AL 2005)*

### **I.3 RETOS DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍAS, APLICACIONES Y METODOLOGÍA (INVESTIGACIÓN BÁSICA, PERFORACIÓN, ESTIMULACIÓN)**

El desarrollo de la geotermia profunda en nuestro país presenta un importante retraso respecto a otros países de nuestro entorno, España no ha estado presente en casi ninguna de las iniciativas de I+D relacionadas con la geotermia en Europa en las últimas décadas y cuyos frutos están propiciando ya el desarrollo de nuevas tecnologías como la geotermia estimulada (EGS) en Alemania y Francia. El encuadre geológico español es especialmente propicio al desarrollo de proyectos de EGS y de baja temperatura, y es precisamente en estos campos en los que se están produciendo importantes avances tecnológicos a nivel mundial en los últimos años. Como contrapartida, la definición detallada del potencial de los recursos geotérmicos sigue siendo una de nuestras grandes asignaturas pendientes.

Ante esta situación, España tiene la oportunidad de retomar las experiencias de I+D que se están desarrollando en otros países de nuestro entorno y transferir y desarrollar este nuevo conocimiento adaptándolo a nuestra realidad y encuadre geológico concretos, propiciando la investigación básica y el desarrollo de proyectos de demostración que constituyan la oportunidad para el impulso de la geotermia estimulada y de baja temperatura en nuestro país.

Los Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) tienen un creciente interés dado que permiten producir energía de fuente geotérmica en un rango mucho más amplio de localidades de las que pueden ser consideradas atendiendo a recursos convencionales hidrotermales.

En respuesta a la necesidad de reducir las emisiones atmosféricas de dióxido de carbono, actualmente se proponen sistemas geotérmicos mejorados (EGS) que utilizarían como fluido de transmisión de calor el CO<sub>2</sub> en lugar de agua, y lograría el secuestro geológico de CO<sub>2</sub> como un beneficio secundario.

Recientemente se han realizado diversas simulaciones numéricas para estudiar la dinámica de fluidos y las cuestiones de transferencia de calor en sistemas geotérmicos estimulados operados con CO<sub>2</sub> evaluando asimismo sus propiedades termo-físicas. Los resultados preliminares sugieren que el CO<sub>2</sub> es superior al agua en su capacidad de intercambio de calor con el subsuelo rocoso. Asimismo el CO<sub>2</sub> también tiene ciertas ventajas con respecto a la hidráulica del pozo, la mayor compresibilidad y expansividad que posee respecto al agua aumentaría las fuerzas de empuje y reduciría el consumo de energía parasitaria del sistema de circulación de fluidos.

Si bien los aspectos térmicos e hidráulicos de un sistema EGS basado en CO<sub>2</sub> parecen prometedores, sigue habiendo importantes incertidumbres con respecto a las interacciones químicas entre fluidos y rocas.

Finalmente, cabe señalar que, la I+D junto con la innovación, han de convertirse en herramientas clave para lograr una disminución paulatina de los costes de producción

de energía mejorando así la competitividad de la geotermia frente a otras fuentes de generación de energía.

### **3.1 Proceso de investigación**

En cualquier proyecto de generación de energía geotérmica es muy importante conocer la geología junto con el régimen tectónico y estructural del área; las características del subsuelo basadas en métodos geofísicos de superficie; y las características geoquímicas de las aguas y gases geotermiales. Esta fase pre-perforación ayuda a localizar los objetivos de investigación para la perforación profunda, intentando así reducir los riesgos de la perforación.

El proceso de investigación debería seguir un esquema con tres fases principales:

#### ***I. Prospección geológica inicial, métodos geoquímicos y geofísicos***

- Antes de acometer grandes gastos de exploración, es conveniente realizar estudios preliminares de reconocimiento describiendo la localización, puntos geológicos de emisiones termales y tipos de manifestación.
- También debe recopilarse toda la información útil derivada especialmente de la investigación petrolera y minera.
- La mayor evidencia de presencia potencial de fluidos geotermiales profundos explotables en una región es la presencia, en superficie de manifestaciones termales tales como manantiales termales.
- Una vez que se conocen las manifestaciones termales en incidencia y tipo, se deberá planear una estrategia de qué tipo de prospección técnica es mejor para el área de estudio.
- La investigación química de vapores condensados, aguas termales y fases minerales precipitados a la salida de las emisiones termales deberán incluir análisis isotópicos y químicos.
- La prospección geoquímica de un fluido de descarga termal natural en la superficie de un área a investigar deberá preceder a cualquier futura investigación geofísica.
- Entre las posibles investigaciones geofísicas, las campañas de magnetotélúrico, la sísmica de reflexión y la perforación de sondeos superficiales para medir el gradiente térmico (*slimholes*) suelen ser las herramientas más útiles para decidir si un área geotérmica potencial merece ser investigada con sondeos geotérmicos profundos propiamente dichos.

#### ***II. Perforación y Modelización***

Esta fase comprende normalmente la realización de al menos dos sondeos geotérmicos completos junto con sus ensayos de producción que deben de confirmar los parámetros fundamentales de producción; temperatura y caudal. Esta prueba del

modelo debe incluir aspectos tales como ensayos de circulación de fluidos, estimulación química e hidráulica y propiedades químicas de los fluidos de producción (este parámetro es importante para valorar posibles fenómenos de corrosión en las instalaciones).

Una vez se concluyen los primeros sondeos y se obtienen los parámetros principales se procede a la Modelización del comportamiento geotérmico sondeos-entorno geológico. En la actualidad se dispone de buenas herramientas matemáticas que permiten las predicciones del comportamiento futuro del yacimiento y su explotación, en función de las características geológicas e hidrogeológicas del medio, así como de las de los sondeos y del régimen de explotación previsto.

### **III. Fase de desarrollo del campo geotérmico**

Finalmente si la fase anterior de prueba de concepto se concluye con éxito se pasará a la fase definitiva de desarrollo del campo geotérmico y planta de producción propiamente dichos.

## **I.4 MEDIDAS DE IMPULSO PARA EL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA PROFUNDA**

Las principales medidas de impulso para lograr el despegue de la geotermia se podrían resumir en los siguientes puntos:

- La investigación de recursos convencionales: geología, geoquímica y geofísica.
- El desarrollo de técnicas y aplicaciones geológicas (3D, etc.).
- El desarrollo de técnicas para análisis de estados tensionales y estructurales en yacimientos profundos.
- La aplicación de nuevas técnicas geofísicas para recursos convencionales. geotermia de baja temperatura y sistemas geotérmicos estimulados (EGS).
- Se deberán impulsar líneas de investigación en España, como ya se vienen desarrollando en otros países, que tiendan a minimizar los efectos indeseables de la sismicidad inducida por la estimulación de los yacimientos.
- Modelización de yacimientos: modelos de transporte y flujo de calor adaptados al aprovechamiento geotérmico de acuíferos someros, subsuelo y almacenes profundos.
- Estimulación y creación de reservorios geotermiales.
- Mejora de la eficiencia de los ciclos termodinámicos que posibilite la generación de electricidad a partir de temperaturas cada vez más bajas.
- Hibridación de la geotermia con otras tecnologías renovables.

## **I.5 SOSTENIBILIDAD**

La sostenibilidad en el aprovechamiento de los recursos geotérmicos debe entenderse de diferentes maneras; por un lado la sostenibilidad energética definida como el mantenimiento de las condiciones térmicas del recurso tendente al equilibrio de cargas térmicas que permitan asegurar el aprovechamiento del mismo más allá de la vida del



proyecto; por otra parte la sostenibilidad ambiental de los recursos que asegure el mantenimiento de presiones en los yacimientos, evitando así la disminución de los volúmenes de fluido disponibles. La sostenibilidad ambiental debe asegurar también la menor afección al medio, particularmente a las aguas subterráneas, tratando de evitar la posible interferencia con acuíferos y a cualesquiera otros recursos del subsuelo, singularmente a otros yacimientos geotérmicos vecinos y a las aguas minerales y termales. Finalmente la sostenibilidad ambiental deberá también contemplar el momento de cierre y abandono de las explotaciones garantizando su adecuada restauración.

La sostenibilidad energética en la geotermia profunda requiere un equilibrio entre la energía que se extrae y la que el interior de la Tierra es capaz de aportar al sistema, de forma que se asegure a lo largo de la vida del proyecto de aprovechamiento una producción constante en el tiempo y una afección mínima del yacimiento, y en particular del entorno de las perforaciones de extracción e inyección. El establecimiento de un ritmo de producción en el que no se extrae del yacimiento mayor cantidad de energía y fluido del que se genera de forma natural, posibilitará una explotación continuada del recurso a un ritmo estable y sostenible en el tiempo.

La sostenibilidad ambiental en el aprovechamiento de recursos geotérmicos convencionales requerirá garantías suficientes para que la producción se realice con reinyección del fluido una vez que se haya extraído la energía térmica. Únicamente quedarían exceptuados de esta norma aquellos casos en que la protección ambiental de los recursos por parte de la propia autoridad ambiental, hidráulica o minera estableciese específicamente su inconveniencia. Igualmente se deberá garantizar la no afección a las aguas subterráneas así como la debida restauración del medio una vez que finalice la actividad de explotación. La sostenibilidad ambiental queda perfectamente recogida y garantizada en la aplicación y cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

## **I.6 BENEFICIOS DE LA GEOTERMIA**

La geotermia está considerada como una energía renovable, pues constituye una fuente inagotable de recursos energéticos.

Esta fuente energética cuenta con los factores de capacidad y de utilización más altos de entre las renovables, hasta un 95% en algunos casos, consiguiendo producir más de 8000 horas año de manera ininterrumpida.

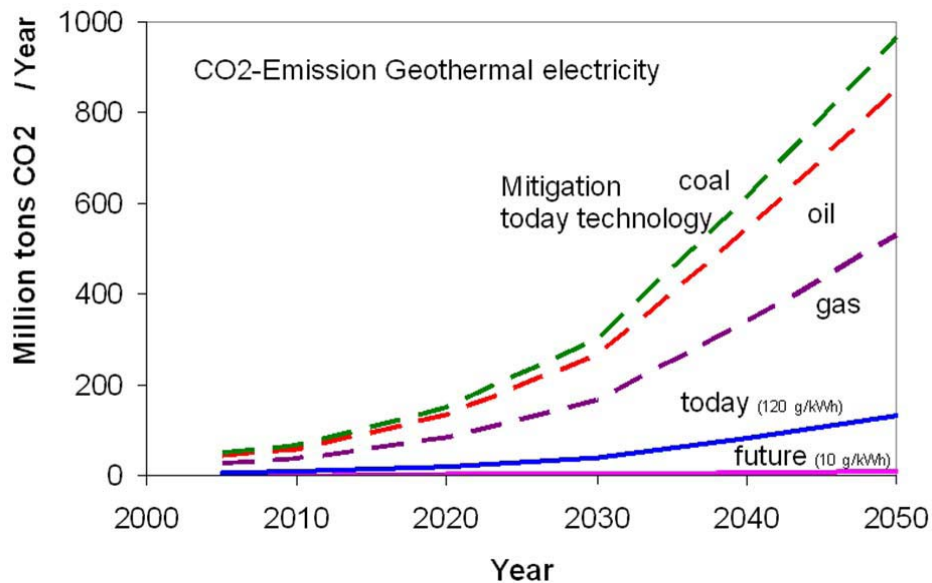
Por su carácter autóctono, el aprovechamiento de los recursos geotérmicos implicará la reducción del grado de dependencia del sector energético exterior, la reducción del consumo de fuentes de energía fósiles y el refuerzo de la seguridad del suministro.

Si se examina el ciclo de vida completo de la energía geotérmica, los impactos medioambientales son destacadamente menores que los existentes en las centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energías renovables. Esto sucede fundamentalmente porque como la fuente de energía geotérmica está en el interior de la Tierra, los equipos de generación eléctrica son relativamente compactos, haciendo que la instalación completa sea más

pequeña y, por tanto, el área de terreno requerido por las plantas geotérmicas sea mucho menor que el que necesita otro tipo de plantas de generación eléctrica. De forma aproximada, una planta térmica de gas ocuparía tres veces más espacio que una geotérmica y una de carbón hasta ocho veces más.

Asimismo, se trata de una energía limpia, pues ocasiona muy pocas emisiones de gases, que son notablemente menores en comparación con otras fuentes térmicas de energía.

La producción de electricidad a partir de energía geotérmica, podría acercarse a los 300 TWh/año en 2050 esta producción podría reducir (dependiendo de la fuente energética que reemplazara) cientos de millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>/año tal y como muestra la siguiente figura.



*Previsiones de emisión de CO<sub>2</sub> debidas a la generación eléctrica con distintas tecnologías (Fuente: Fridleifsson, I.B., 2008)*

Otra de las principales ventajas de la energía geotérmica es que ofrece un flujo constante de producción de energía a lo largo del año, ya que no depende de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, viento, sol, etc., como ocurre con otras fuentes de energía renovable. Esto es muy importante desde el punto de vista de la seguridad del suministro eléctrico, por lo que se la puede considerar como una energía sostenible.

Por todo lo anterior, parece claro que la crisis energética es una de las amenazas permanentes que acechan al estado del bienestar en que se basa la sociedad moderna y que la energía geotérmica cuenta con las características ideales para posicionarse como un importante agente dentro de un modelo energético futuro que sea capaz de hacer frente a esta situación. En resumen, el siguiente cuadro recoge los aspectos beneficiosos más representativos de la geotermia profunda para nuestra sociedad:

<b>Beneficios sociales de la geotermia profunda</b>	
2.	Contribución al mantenimiento del bienestar social
2.1.	Preservación del medio ambiente (energía limpia y ausencia de impacto visual)
2.2.	Refuerzo de la seguridad de suministro energético
3.	Desarrollo social sostenible de las comunidades locales
3.1.	Creación de empleo autóctono
3.2.	Mejora e incremento del volumen de los servicios sociales
3.	Sostenibilidad del modelo económico

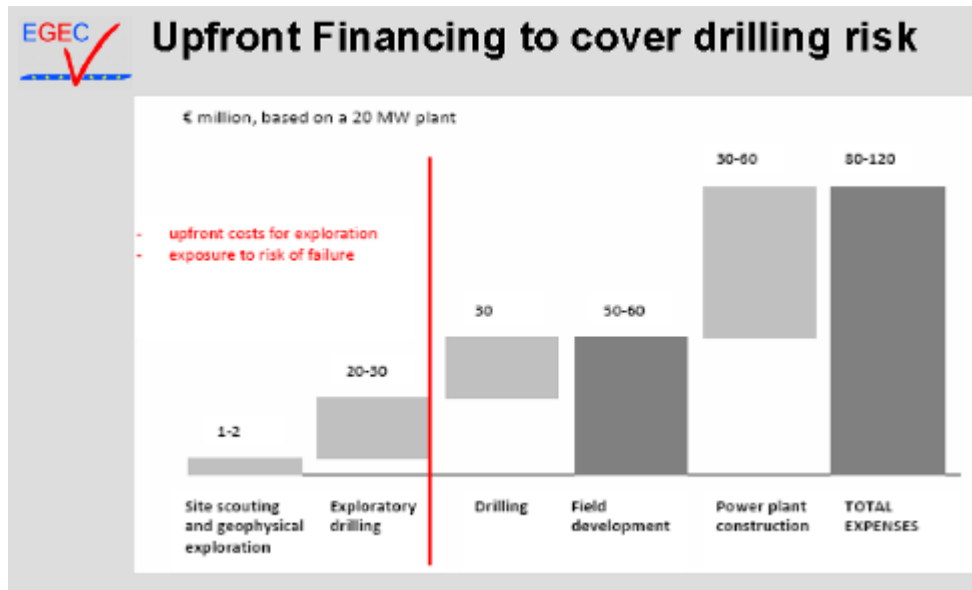
<b>Visión social de la geotermia profunda. Ventajas y beneficios.</b>
◆ Energía gestionable, producción continua 24 h al día, 365 días del año, que mejora la estabilidad de red
◆ Energía limpia que ayuda a reducir el impacto de los gases de efecto invernadero en el calentamiento global
◆ Seguridad energética, generación autóctona que permite reducir la dependencia de fuentes externas
◆ Uso más eficiente de la energía, el uso de calor directo para calefacción y procesos industriales y agricultura permite el aprovechamiento de la energía de manera más eficiente.
◆ Reducción del impacto visual, dimensiones reducidas de las instalaciones de generación comparadas con otras tecnologías
◆ Tecnología termoeléctrica, permite integrar los usos eléctricos y térmicos en una única instalación

## **I.7 RENDIMIENTOS ECONÓMICOS**

A diferencia de otras energías renovables como la eólica, la solar o la biomasa, los elementos a considerar en cualquier estimación de costes, ya sea de planta, costes de operación y del precio de los productos de la energía geotérmica, son más numerosos y complicados. El aprovechamiento de la energía geotérmica supone un desembolso inicial de la inversión muy alto y con un riesgo elevado.

En el desarrollo de un proyecto geotérmico los costes de perforación son un componente económico más significativo.

El siguiente diagrama muestra los riesgos de inversión inherentes a cada una de las fases del un proyecto geotérmico tipo (en este caso una planta de 20MW de potencia instalada)



Los porcentajes de inversión para cada fase del proyecto se resumen la siguiente tabla

<b>Distribución de Costes inversión</b>	
Exploración y confirmación del recurso	10 - 20%
Perforación	40 - 50%
Planta geotérmica	40%

Existen diversos factores que afectan a la viabilidad económica de un sistema geotérmico:

- I. Las características del recurso nos permiten definir el tipo de proyecto a realizar, una solución más simple o más compleja dependiendo de los equipos que la integran, cantidad de vapor requerida para operar, necesidad de pozos de abastecimiento, lo que influye directamente en la inversión de capital y costes de operación y mantenimiento.
  - i. • La profundidad a la que se encuentra el recurso nos permite calcular el coste de los sondeos de producción e inyección a desarrollar.
  - ii. • El caudal y temperatura del recurso nos aportan la potencia útil estimada que puede proporcionar, así como el número de pozos a desarrollar para alimentar una planta con una determinada potencia instalada.
  - iii. • La composición del fluido geotermal determina el equipo de preparación y acondicionamiento del fluido e influye directamente en los costes de operación.

La distancia entre el foco del recurso y el lugar de consumo, es otro factor. Los fluidos geotermales pueden transportarse en tuberías térmicamente aisladas, sin

embargo, las tuberías, bombas, válvulas, etc., son muy costosas pueden llegar a tener un gran impacto en el coste de inversión de capital y en los costes de operación y mantenimiento. Téngase en cuenta también que las pérdidas de calor y presión son directamente proporcionales a la longitud de la tubería. En consecuencia, la distancia entre el recurso geotermal y el punto de consumo deberá ser lo más corto posible, fundamentalmente si el yacimiento geotérmico no es de alta temperatura. En el caso de la generación eléctrica, la evacuación de la energía a la red principal es también un aspecto que puede influir de manera decisiva en la viabilidad económica del proyecto, especialmente si el recurso geotérmico se sitúa alejado de la conexión a la red principal.

III. En el caso de los usos directos, las características de los consumidores definirán las pautas y exigencias para el diseño de la central térmica, la red de distribución y realizar así una estimación de costes. Como parámetros más influyentes a tener en cuenta se encuentran, los siguientes:

- Nivel térmico de la demanda.
- El tipo de usuarios que determinará la forma de la curva de demanda del calor.
- Potencia total.
- Densidad superficial: definida como cociente entre la potencia demandada por los usuarios y la superficie total cubierta por la red.
- Distribución superficial: distribución uniforme de pequeños consumidores o una distribución puntual de grandes consumidores.

El clima es un factor decisivo y determinante para definir la potencia de la instalación y el número de horas de funcionamiento al año.

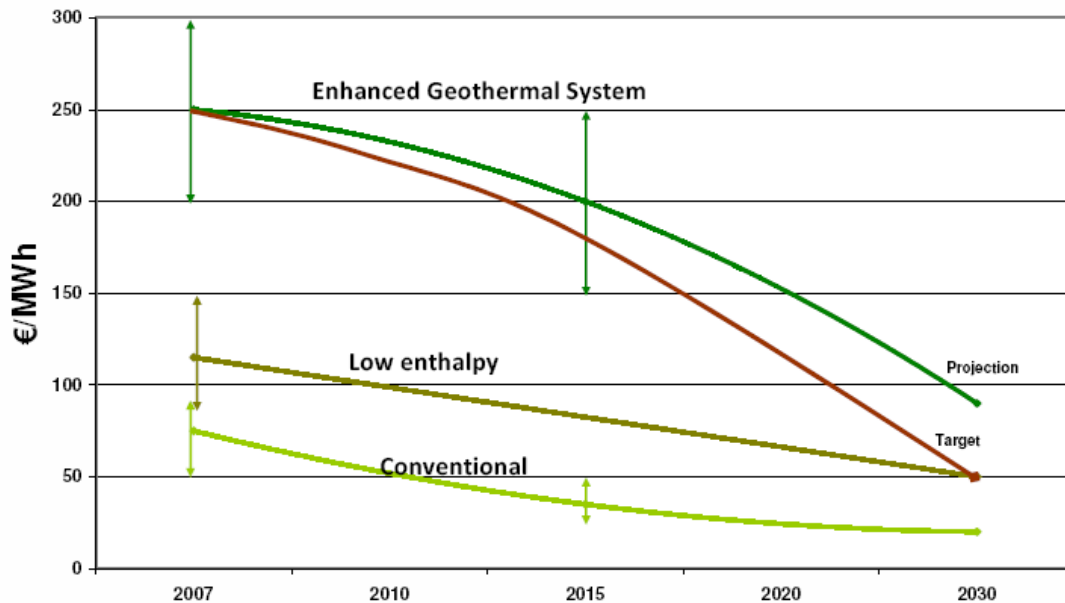
Influirá, económicamente, la rentabilidad que presenta una instalación geotérmica al compararse con otra instalación que consume otro tipo de energía, bien sea renovable o no.

IV. La existencia de líneas de subvenciones oficiales o líneas de financiación para proyectos de energía geotérmica que intervienen en la rentabilidad del proyecto y en la recuperación de la inversión.

El precio de la energía, el costo del dinero y la tasa de inflación son parámetros importantes que también intervienen de forma decisiva sobre el panorama económico y financiero. Dado el carácter renovable de estas instalaciones, pueden contar subvenciones estatales o regionales y líneas blandas de financiación, reduciendo, de esa manera, el tiempo de retorno de la inversión.

A continuación se presenta una estimación de los costes de estas tecnologías según fuentes del EGEC (*European Geothermal Energy Council*, - Consejo Europeo de Energía Geotérmica) en 2009:

Generación Eléctrica	Costes 2007		Costes 2030
	Rango(€/MWh)	Media (€/MWh)	Estimados (€/MWh)
Geotermia convencional	50 a 90	70	20
Ciclos binarios baja tª	80 a 150	115	50
EGS	200 a 300	250	50-90



*Previsiones sobre reducción de costes en la generación eléctrica con geotermia (Fuente: 'Research Agenda for Geothermal Energy. Strategy 2008 to 2030'. European Geothermal Energy Council -EGEC-)*

## I.8 MARCO LEGAL ADMINISTRATIVO

En España, la normativa se encuentra poco desarrollada. Se han hecho muy pocos avances para regular esta forma de energía o reducir las barreras administrativas existentes.

Los recursos geotérmicos están incluidos en la legislación minera. El acceso a su investigación y a su aprovechamiento debe hacerse conforme a dicha normativa.

En ocasiones, existe incompatibilidad de uso con diferentes recursos y aplicaciones, como pueden ser la captura de CO<sub>2</sub>, el aprovechamiento de aguas minerales-termales, la extracción de hidrocarburos, etc.

Por otra parte, en numerosas fases tanto de la investigación, como en las fases previas a la explotación, se deben realizar estudios de impacto ambiental con plazos prolongados de tramitación al amparo de la correspondiente normativa ambiental.

Son numerosos los casos en que la consulta a la autoridad hidráulica también se hace necesaria para evitar posibles problemas a este recurso (fundamentalmente,

al igual que con la autoridad ambiental, cuando es necesario realizar perforaciones y, específicamente, en el caso de sistemas abiertos que hagan uso del agua subterránea, igualmente con plazos prolongados de tramitación).

Finalmente, el uso al que se destine el recurso geotérmico condiciona la normativa a aplicar, entre las que cabe señalar las de producción de energía eléctrica, régimen especial en su caso, instalaciones térmicas en edificaciones, climatización, etc. Además de todas éstas, deben tenerse en cuenta las diferentes normativas locales (fundamentalmente municipales) que puedan tener efecto sobre estos recursos.

En cuanto a la problemática de los Derechos de Emisiones, se plantea la necesidad articular una buena normativa de derechos de emisiones que premie a las tecnologías que no emitan (mejorando el precio del kW producido) y penalice a las que contaminen.

Sin embargo, en Europa existen varios ejemplos de normativa que recientemente han reflejado las posibilidades de la energía geotérmica y favorecen su desarrollo:

<b>2004</b>
La Directiva 2001/77/CE, así como el Informe de la Comisión Europea de 2004 sobre la implantación de esta Directiva, reconoce la geotermia de alta entalpía como fuente productora de electricidad.
<b>Marzo 2007</b>
En marzo de 2007, el Consejo Europeo de Jefes de Estado y Gobierno, de marzo de 2007, decide establecer objetivos obligatorios para la UE para el año 2020, entre otros, cubrir el 20% del consumo de energía a partir de fuentes renovables.
<b>Enero 2008</b>
La Comisión Europea presenta el 23 de enero de 2008 el paquete de energía y cambio climático, que incluye, como una parte fundamental, la Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables.
<b>Diciembre 2008</b>
El 17 de diciembre de 2008 el Parlamento Europeo aprueba una propuesta de Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, que reconoce la geotermia como una energía renovable más, incluyéndola dentro de la definición de “energías procedentes de fuentes renovables.” Dispone que la energía geotérmica capturada por las bombas de calor se incluirá dentro del cálculo de “consumo final bruto de energía procedente de fuentes renovables para la calefacción y la refrigeración” de cada Estado Miembro.



### **Abril 2009 – DIRECTIVA EUROPEA DE ENERGÍAS RENOVABLES**

Aprobación de la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE), en los que reconoce a las tecnologías geotérmicas en los términos aprobados por el Parlamento Europeo. Esta Directiva en lo referente a geotermia supone un cambio cualitativo ya que:

- Establece una definición clara de qué es la geotermia (a diferencia de lo que la Directiva denomina aerotermia e hidrotermia).
- Recoge el fomento de las redes de distrito alimentadas por energías renovables donde la geotermia se constituye como una de las fuentes de energía directa más eficiente y económicamente rentable.

Además, establece que cada Estado Miembro debe elaborar un Plan de Acción Nacional, antes del 30 de junio de 2010, en el que se fijen objetivos para todos los usos renovables: calor y frío, electricidad y transporte. Dichos planes deben contemplar las medidas necesarias a implementar para alcanzar dichos objetivos y deberán revisarse en caso de no cumplirse los objetivos intermedios indicativos hasta alcanzar 2020.

No obstante, aún existen trabas administrativo-legales que son planteadas por las distintas legislaciones vigentes al desarrollo del sector. Ante ellas, en la UE, con la colaboración de países de acumulada experiencia, se han emprendido los siguientes proyectos con objeto de impulsar la energía geotérmica profunda:

- GeoThermal Regulation–Heat. Tiene por objeto identificar barreras y deficiencias regulatorias, establecer soluciones legislativas y fortalecer y expandir la red de cooperación en materia de legislación geotérmica.
- A través del Programa Marco, principal instrumento de financiación de la I+D en la UE, se han financiado varios proyectos en el campo de la geotermia profunda, entre los que cabe resaltar el siguiente:
  - Geiser - *Geothermal Engineering Integrating Mitigation of Induced Seismicity in Reservoirs* (Ingeniería geotérmica para la integración de la mitigación de la sismicidad inducida en los reservorios), con un presupuesto global de 7,1 millones de €.
- Plataforma Tecnológica Europea de Climatización Renovable (*European Technology Platform for Renewable Heating and Cooling*, ETP-RHC). Constituida en marzo de 2009, cuenta con un Panel de Geotermia, además de los paneles de Biomasa, Solar Térmica y un Panel Horizontal. Pretende ser el foro en el que los distintos agentes de los sectores implicados en el ámbito de la climatización renovable se agrupen para señalar sus necesidades en I+D+i, de forma que éstas sean transmitidas a las instituciones de la UE con competencia en diseño de



planes de I+D, proyectos de investigación, etc. para que aparezcan reflejadas en los mismos.

- El proyecto europeo GEOFAR (Herramientas financieras y de información pública para los proyectos de geotermia profunda en regiones europeas) pretende poner de manifiesto las dificultades y las barreras no técnicas que obstaculizan las etapas iniciales de los proyectos de energía geotérmica y que son la causa de la carencia de este tipo de inversiones en Europa. Uno de los objetivos principales de GEOFAR es proponer soluciones realizables y elevar el conocimiento sobre la energía geotérmica entre responsables, especialmente en el nivel regional, para ayudar a impulsar nuevas inversiones.

En todas las iniciativas europeas mencionadas hasta el momento participa *European Geothermal Energy Council –EGEC-* (Asociación Europea de Geotermia), asociación empresarial con sede en Bruselas y dependiente de *European Renewable Energy Council –EREC-* (Agencia Europea de Energía Renovable), que es la organización que aglutina los intereses del sector de las energías renovables en Europa, incluyendo a los productores y promotores, organismos de investigación y grupos de inversión.

En mayo de 2009 se celebra la asamblea de constitución de GEOPLAT (Plataforma Tecnológica Española de la Geotermia) la plataforma, respaldada por el Ministerio de Ciencia e Innovación, el IDAE y el CDTI, tiene como principal objetivo la identificación y desarrollo de estrategias sostenibles para la promoción y comercialización de la energía geotérmica en España. En mayo de 2010 se presentó el documento de visión 2020-2030 y en este momento se está elaborando la agenda tecnológica de investigación que se espera sea presentada públicamente en la asamblea general de 2011.

## **I.9 CONCLUSIONES**

La producción mundial de electricidad a partir de energía geotérmica representa en la actualidad algo más de 60 TWh/año y para 2050 podría llegar a generar algo más de 1000 TWh/año libres de emisiones que podrían desplazar la producción proveniente de otras fuentes de energías fósiles contaminantes contribuyendo así de manera significativa a la reducción del cambio climático.

España cuenta con un potencial geotérmico prometedor respaldado en los trabajos de investigación desarrollados por el IGME en los años 70-80, pero es necesario avanzar en un mejor conocimiento básico de nuestros recursos potenciales, enfocando a su aprovechamiento como sistemas geotérmicos estimulados, una tecnología 100% libre de emisiones que permitiría el desarrollo de proyectos geotérmicos en muchas zonas de nuestro país que hasta hace poco no han sido consideradas al no entenderse como técnica y económicamente viables.

El sistema de tarifas reguladas, al igual que lo ha sido para otras renovables es uno de los mecanismos preferidos por los países europeos para el impulso de la geotermia, España cuenta desde 2007 con una tarifa regulada para geotermia que es inferior a la media europea y menor de la mitad de la existente en países como Alemania. Además es una de las tarifas más bajas del régimen especial español, mostrándose

insuficiente para propiciar el impulso de la esta tecnología en la fase inicial en la que se encuentra.

España necesita por tanto una combinación de planes de financiación, a través de tarifas reguladas adecuadas para su desarrollo inicial, un programa de reducción de riesgo en la fase de investigación, líneas de apoyo a la investigación y desarrollo, incentivos a la producción de energía térmica y una mejora del marco regulatorio que tenga en cuenta todos los aspectos relacionados con el desarrollo de la geotermia.

## I.10 BIBLIOGRAFÍA

- Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT). (2010) “Documento de Visión a 2030”
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (junio de 2008) “Manual de geotermia”
- Chandrasekharam, D. & Bundschuh, J. (2008) “Low-Enthalpy Geothermal Resources for Power Generation”. Taylor & Francis Group. London.
- Minissale, A. (2002) “Geochemical and geophysical methods in geothermal exploration. Geothermal Energy resources for developing countries”. Swets & Zeitlinger. Lisse (Holanda).
- Verma, S.P. (2002) “Optimisation of the exploration and evaluation of geothermal resources. Geothermal Energy resources for developing countries”. Swets & Zeitlinger. Lisse (Holanda).
- European Geothermal Energy Council (EGEC). “Geothermal Electricity and Combined Heat & Power”
- Bertani, R. “Geothermal Power Generation in the World - 2005–2010. Update Report” Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- García de la Noceda, C., and Sanchez-Guzman, J. “Geothermal Energy Development in Spain - Country Update Report”, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- GEOFAR (2009). “Financial instruments as support for the exploitation of geothermal technology and associated factsheets”.  
[http://www.energia.gr/geofar/articlefiles/geofar\\_report\\_06\\_09.pdf](http://www.energia.gr/geofar/articlefiles/geofar_report_06_09.pdf),
- Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Madrid (1990), “Trabajos de medición e inventario de datos de flujo de calor en áreas seleccionadas del Macizo Ibérico Español”
- Fridleifsson, I.B., R. Bertani, E. Huenges, J. W. Lund, A. Ragnarsson, and L. Rybach 2008. “The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change”. In: O. Hohmeyer and T. Trittin (Eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008.

## II. DOCUMENTO DE GEOTERMIA SOMERA

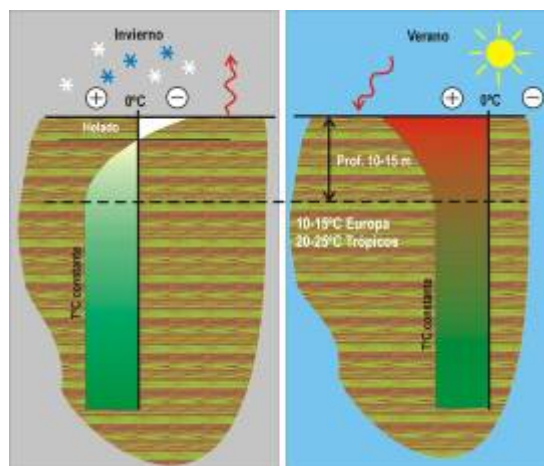
### II.1 Qué es la geotermia somera

#### 1.1 Descripción y fundamentos

La superficie de la Tierra recibe del Sol en forma de calor  $2 \cdot 10^{17}$  Julio/segundo, que es del orden de cuatro órdenes de magnitud superior al calor geotérmico procedente del interior del planeta. Esa energía penetra a escasa profundidad en el subsuelo, contribuyendo a mantener la superficie del planeta a una temperatura promedio de  $15^{\circ}\text{C}$ , y es irradiada de nuevo al espacio, no interviniendo en los procesos energéticos que afectan al interior de la Tierra. Partiendo de esta consideración, prácticamente la totalidad de la corteza terrestre del planeta constituye un extenso almacén de recursos geotérmicos de muy baja temperatura ( $< 30^{\circ}\text{C}$ ). En cualquier punto de la superficie del planeta se puede captar y aprovechar el calor almacenado en las capas superficiales del subsuelo, a pocos metros de profundidad (Heliotermozona), o en masas de agua (acuíferos poco profundos) mediante el uso de bombas de calor.

Por otra parte, desde el interior de la corteza terrestre se produce un aporte de calor de forma permanente, lo que se puede apreciar por el incremento de la temperatura con la profundidad a partir de unos pocos metros de profundidad.

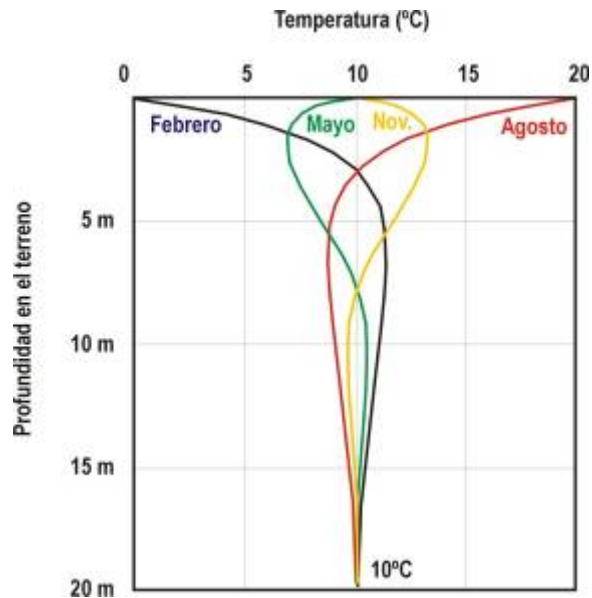
En resumen, debido en gran medida a la enorme inercia térmica de los materiales geológicos que componen la corteza terrestre, a pocos metros de profundidad, la temperatura permanece estable (zona neutra), entre  $7$  y  $15^{\circ}\text{C}$ . Este valor depende de la latitud y altitud del terreno, la orientación, el clima, la vegetación, la cobertura del suelo, la pendiente, la presencia o no de nieve en superficie y de las propiedades intrínsecas del suelo.



*Tendencia de la temperatura del terreno a permanecer constante durante todo el año a partir de una profundidad de 10-15 m. (Fuente: Brandl, 2006)*

A partir de estos primeros metros de profundidad, la temperatura no depende de las variaciones estacionales y se mantiene constante a lo largo del año a cada

profundidad. Debido al gradiente geotérmico, esta temperatura es mas elevada a medida que se profundiza en la corteza, si bien la circulación de aguas subterráneas u otros elementos naturales o antrópicos pueden localmente modificar el régimen térmico.



*Perfil térmico del terreno en diferentes meses del año*

La geotermia somera reúne dos características que la diferencian del resto de posibilidades de explotación energética:

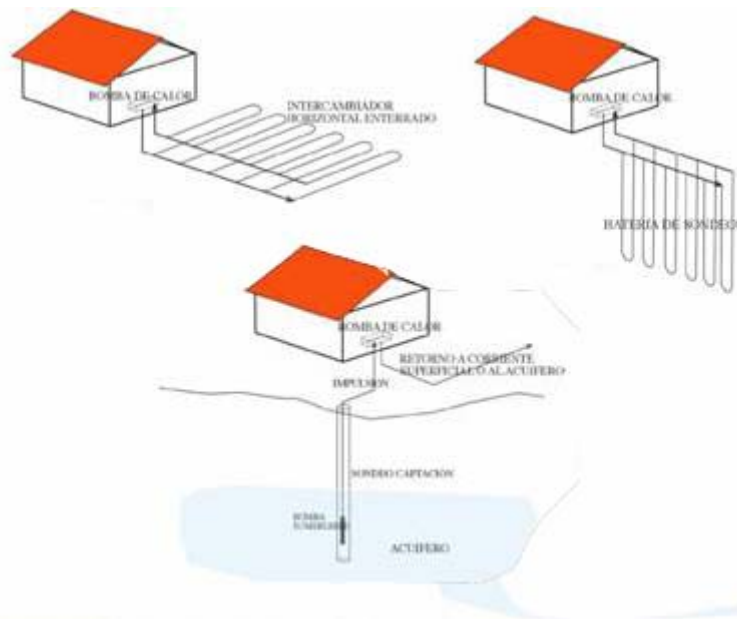
- Se trata de un recurso energético que está debajo de cualquier terreno de cualquier lugar habitado y no habitado del planeta, relativamente próximo a la superficie.
- Su posibilidad de aprovechamiento está supeditada habitualmente al uso de bombas de calor geotérmicas.

## 1.2 Tecnologías existentes en geotermia somera

Los fluidos geotérmicos de baja entalpía pueden ser utilizados para la obtención directa de calor. Cuando la temperatura del recurso es inferior a 30 °C el aprovechamiento en calefacción recurre, en la mayoría de los casos, al uso de la bomba de calor.

Aunque existen otros sistemas similares que precisan también el uso de bomba de calor, conforme a las definiciones establecidas por la Directiva Europea de Energías Renovables que están recogidas en el documento de Introducción, estos otros sistemas no son considerados Energía Geotérmica. Son aquellos que aprovechan el calor almacenado en las aguas superficiales (Energía Hidrotérmica) o los que utilizan el calor almacenado en el aire ambiente (Energía Aerotérmica). Por lo tanto, sólo se consideran los sistemas que aprovechan el calor almacenado bajo la superficie del terreno que es lo que la Directiva considera como Energía Geotérmica.

Se han desarrollado diversas tecnologías para aprovechar el calor del subsuelo en función de la accesibilidad del recurso geotérmico. Todas ellas se pueden clasificar en dos tipologías principales: Los circuitos cerrados en los que se instala un intercambiador en el terreno para el aprovechamiento energético, y los circuitos abiertos donde se capta agua de un acuífero para su aprovechamiento. La siguiente figura refleja estas tipologías y algunos de los principales subtipos:



*Tipos de intercambiadores geotérmicos comúnmente empleados en aplicaciones de baja entalpía*

#### CIRCUITO CERRADO CON INTERCAMBIADOR CERRADO HORIZONTAL

La tubería, normalmente de polietileno (PE), por la que circula el líquido de intercambio: agua o agua glicolada, se instala en zanjas a una profundidad mínima de 0,90 metros. Existen disposiciones de hasta seis tubos por zanja aunque comúnmente se colocan dos. Una variante (*Slinky*) recurre a la colocación de las bobinas de PE en el terreno extendiendo las sucesivas espiras e intercalando tierra seleccionada o arena. Las necesidades se estiman entre 10 y 35 m/kW en función de las características litológicas, el grado de humedad del suelo y el número de ramales en la zanja. Este sistema habitualmente tiene un coste inferior a la perforación de sondeos. Como contrapartida se precisa disponer de una importante superficie con espesores ripables superiores a 1 metro, lo que con frecuencia es difícil de conseguir. Además, el sistema está sometido a variaciones apreciables en la temperatura y el grado de humedad que penalizan el rendimiento estacional. Una variante de este sistema, sistemas de expansión directa, realiza el intercambio mediante la circulación de fluido refrigerante por el circuito colocado en el terreno.

<b>CIRCUITO CERRADO CON INTERCAMBIADOR VERTICAL</b>
Precisa la perforación de sondeos de profundidad variable, normalmente entre 60 y 200 metros. Los sondeos se equipan con tubería de PE de diámetros comprendidos entre 25 mm (3/4") y 63 mm (2") en función del caudal circulante y la longitud del circuito. El rendimiento varía entre 12 y 20 m/kW en función de las características litológicas e hidrogeológicas del terreno. Presenta un bajo índice de ocupación del terreno y la temperatura del medio por debajo de los 10 metros permanece sensiblemente constante a lo largo del año. Una variante de este sistema son las cimentaciones energéticas donde se aprovechan las estructuras de cimentación profunda para captar y disipar la energía térmica del terreno. La principal debilidad de estos sistemas es el coste inicial de implantación.
<b>CIRCUITO ABIERTO</b>
Mediante captación y posterior restitución de agua subterránea. Se trata de un sistema bastante difundido en nuestro entorno, especialmente en zonas con acuíferos aluviales con buenas productividades y piezometrías someras. Se trata de instalaciones sencillas, con bajos costes de inversión y elevados rendimientos aunque presentan el inconveniente de estar sujetas para su explotación una tramitación administrativa más compleja y dilatada.
<b>SISTEMAS TIERRA-AIRE</b>
Permiten el pre-tratamiento del aire de renovación del sistema de ventilación de un edificio mediante su circulación por un conjunto de tuberías enterradas. Son los conocidos como pozos canadienses o pozos provenzales, que permiten con un mínimo consumo reducir el salto térmico existente entre el exterior y el interior del edificio. El aire así pre-acondicionado se conduce al recuperador de calor y a las climatizadoras reduciendo la carga térmica de la ventilación de manera notable.

## II.2 Antecedentes y situación en Europa y el Mundo

La presencia de volcanes y fuentes termales debieron haber inducido a nuestros ancestros a suponer que el interior de la Tierra estaba caliente. Sin embargo, no fue hasta los siglos XVI y XVII, cuando las primeras minas fueron excavadas a algunos cientos de metros de profundidad, que el hombre dedujo por simples sensaciones físicas, que la temperatura de la Tierra se incrementaba con la profundidad. Probablemente las primeras mediciones mediante termómetros fueron realizadas en 1740, en una mina cerca de Belfort, en Francia (Bullart, 1965). No obstante, la energía geotérmica es conocida y viene siendo utilizada desde hace siglos con fines térmicos.

Los usos directos (el empleo directo del calor) se desarrollaron más rápidamente que el aprovechamiento geotérmico para la producción de energía eléctrica. Islandia comenzó en los años 20 del siglo XX a usar la geotermia para calentar invernaderos y



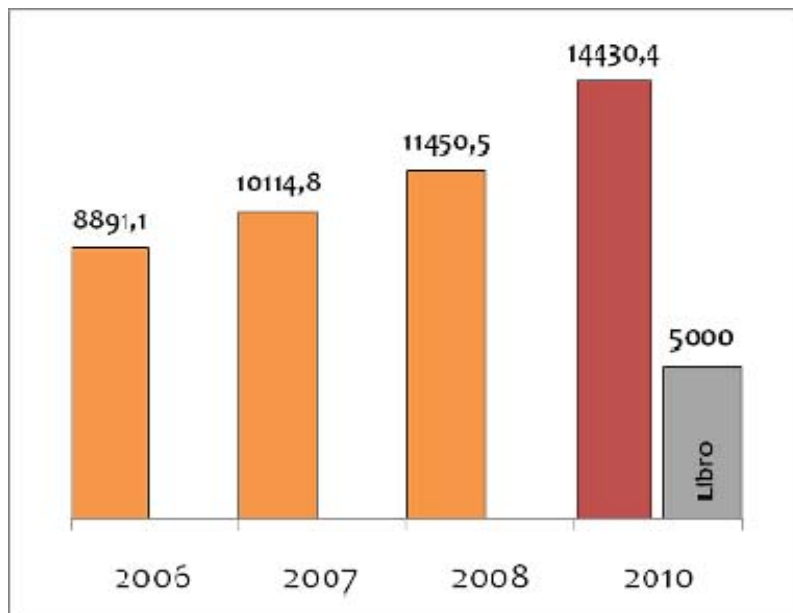
una década después, se convirtió en el primer país en organizar un servicio de calefacción geotérmica a gran escala en la ciudad de Reykjavic. Posteriormente, en los años 50, se produjo la primera aplicación industrial del calor de la tierra en una fábrica de papel de Kawerau, en Nueva Zelanda. Apenas unos años después, en Islandia comienzan a emplear energía geotérmica en la industria textil, en el lavado de lanas.

Más allá de los hitos concretos de la historia, es tras la crisis del petróleo cuando el interés por esta fuente limpia de energía se dispara en todo el mundo. Así, entre 1975 y 1995, el crecimiento medio de los usos directos se produjo a razón de un 6% anual, tasa muy elevada en comparación con las registradas por otras fuentes de energía. A lo largo de los últimos años ese crecimiento se ha ralentizado ligeramente. No obstante, el uso de bombas de calor para aprovechar las fuentes geotérmicas hace prever un relanzamiento de la geotermia.

En España, la energía geotérmica fue ampliamente estudiada en los años setenta y ochenta del siglo XX, época en la que se plantearon ambiciosos proyectos basados en el aprovechamiento térmico para calefacción. Finalmente, estos proyectos no salieron adelante por distintos motivos, no estrictamente económicos, y el desarrollo de la geotermia acabó paralizándose. Los aprovechamientos geotérmicos de muy baja temperatura mediante bomba de calor son aún muy escasos, aunque las primeras instalaciones se realizan ya en los años 80. Pero al igual que en otros países como Suiza, Alemania, Suecia, Austria, Estados Unidos o Canadá, donde son ya más habituales, se están comenzando a desarrollar en España con la esperanza de alcanzar un importante auge para los próximos años.

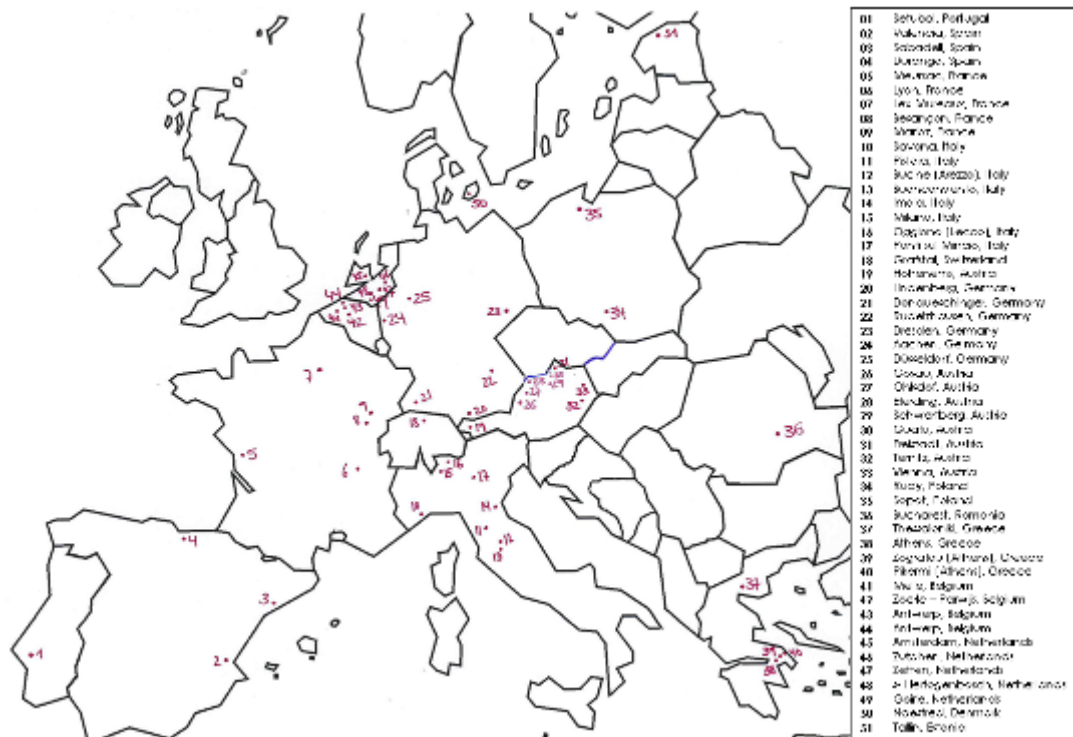
Los sistemas abiertos con bomba de calor ya han sido utilizados durante algunos años. Los sistemas cerrados no comienzan a extenderse hasta el año 2000. A partir de 2004 se van diseñando y construyendo instalaciones de potencias crecientes aplicadas a la calefacción y refrigeración de edificios del sector terciario. En la actualidad, a pesar del colapso experimentado por el sector de la construcción, las expectativas de evolución de los precios de la energía en los próximos años están impulsando un crecimiento continuo de instalaciones geotérmicas de muy baja temperatura tanto en el ámbito doméstico como en el institucional. Las capacidades instaladas actualmente en geotermia somera, en España y en Europa son:

En la UE la potencia instalada de energía geotérmica de muy baja temperatura al término de 2008, ascendía a 8.920 MW con un total de 782.460 instalaciones. Sumada la producción geotérmica de uso directo, la potencia instalada total era de 11.450 MW.



Comparación de la tendencia actual con los objetivos del Libro Blanco para la producción de calor geotérmico en MW, (Sistemas de bombas de calor y fuentes geotérmicas de baja y media temperatura). Fuente: EurObserv'ER 2009

Según se observa en la figura anterior, en 2007 se han duplicado las previsiones del libro blanco de la energía renovable (1997) para 2010. Además, la tendencia apunta a que a finales de 2010 se habrán, prácticamente, triplicado estos objetivos.



En lo que a España respecta, no se dispone hasta la fecha de objetivos específicos a alcanzar ni de estadísticas fiables sobre la potencia instalada de geotermia somera.



Los mapas que van recogiendo la implantación y el avance de la energía geotérmica en Europa muestran una patente falta de datos en la Península Ibérica.

La Directiva 2009/28/CE de promoción de las energías renovables recoge esta energía y fija los criterios de cálculo para el cómputo de la aportación a los objetivos 20-20-20. Habida cuenta del tramo que queda por salvar para su cumplimiento, es evidente que su medición y registro debe ser un objetivo prioritario del sector y la base de cualquier prognosis con un mínimo de rigor.

Los datos disponibles a partir de los registros de subvenciones de las distintas comunidades autónomas (recopilados por APPA en 2008) suman una potencia de 8,4 MW. Sin embargo, estos datos no comprenden el mismo período para todas las comunidades autónomas, algunos corresponden a finales de 2007 y otros a 2008. Además la información pertenece a nueve comunidades autónomas que subvencionan esta energía. Faltan otras como Aragón, Castilla la Mancha y, especialmente, Cataluña cuya aportación puede incrementar esta cifra de manera significativa. Otras fuentes (Eclareon 2009) calculan un total de 650 instalaciones al término de 2008 y estiman un crecimiento del 30% para 2009 hasta las 850. No se hace mención a la potencia media instalada que en cualquier caso puede ser sensiblemente superior a la europea ( $\approx 12$  kW). Según esto la potencia instalada en este segmento al término de 2009 en España podría superar los 15 MW.

Por otra parte, las estadísticas no recogen un buen número de instalaciones con aguas subterráneas que explotan normalmente acuíferos aluviales de algunos grandes ríos. Se trata de instalaciones en circuito abierto con potencias de decenas, e incluso centenares de kW, usadas para la refrigeración de edificios que se han construido principalmente en los últimos 30 años. El ejemplo más característico puede ser Zaragoza, pero también Barcelona o Sevilla cuentan con instalaciones de este tipo. También hay un buen número de hoteles que aprovechan acuíferos costeros, con frecuencia salinos, para usos térmicos. En función de todas estas instalaciones el sector estima que la potencia total instalada en España puede estar en torno a 60-80 MW.

### **II.3 Retos de investigación: Tecnologías, aplicaciones, metodología**

Para conseguir una utilización generalizada de esta fuente de energía, es necesario profundizar en la investigación sobre nuevas tecnologías, potenciales aplicaciones, así como implementar metodologías estandarizadas de reconocimiento y caracterización del terreno, perforación, instalación, explotación y mantenimiento que permitan ejecuciones de calidad homogénea por profesionales adecuadamente cualificados. Este objetivo implica una serie de retos que se pretenden presentar en este apartado:

#### ➤ Tecnologías

Es necesario buscar nuevas alternativas y solventar la principal barrera de introducción de la tecnología geotérmica que es el coste asociado al movimiento de tierras. Fundamentalmente en instalaciones de elevada potencia en climatización, la inversión inicial para la implantación de estos sistemas es considerable. El objetivo

debe ser minimizar esta inversión inicial mediante la incorporación de los elementos de intercambio geotérmico a la cimentación de los edificios eliminando así la principal barrera de desarrollo de los sistemas geotérmicos. Para ello es necesario desarrollar y validar experimentalmente protocolos de diseño y modelado de este tipo de sistemas para el correcto dimensionamiento de los mismos.

➤ Aplicaciones

Otro reto importante para la implantación de la geotermia somera en España es localizar potenciales aplicaciones de este tipo de energía en diferentes contextos de la edificación, la industria, la obra pública, la agricultura, el ocio, etc. En relación a esto pueden citarse por ejemplo aplicaciones en carreteras, puentes, túneles, pistas de aeropuerto o estaciones de metro y tren, así como instalaciones geotérmicas de baja entalpía en elementos de cimentaciones profundas como pilotes y muros pantalla.

➤ Metodologías

Es fundamental ahondar en el desarrollo e implantación de metodologías de investigación geológico-geotécnicas que se deben realizar para proyectar y ejecutar instalaciones de ahorro y aprovechamiento energético mediante el uso de energía geotérmica, teniendo en cuenta los aspectos geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, condiciones térmicas y respuesta térmica del suelo.

Antes de realizar costosas campañas de investigación para realizar un proyecto de geotermia somera, es necesario previamente aplicar las técnicas de investigación geológica para optimizar el diseño de la instalación.

La metodología habitual empieza por recopilar los datos de la geología local y regional en diferentes fuentes, principalmente en:

- Estudio geotécnico de cimentación, según el Código Técnico de la Edificación, donde se dispondrá de información de sondeos muy superficiales (entre 5 y 35 m) que indicarán cuáles son los materiales que nos encontramos en detalle, posición de niveles freáticos superficiales, y el análisis químico de las aguas que se encuentran en esos primeros metros.
- Mapas geológicos e hidrogeológicos regionales de la zona a investigar, editados por el IGME a nivel estatal, aunque algunas autonomías también disponen de ellos. Estos mapas nos servirán para conocer en profundidad los materiales que encontraremos, si hay fallas, posición de los diferentes acuíferos, etc.

Con estos datos ya es posible diseñar con bastante aproximación las perforaciones para la instalación geotérmica somera, dejando a posteriori la realización de la perforación para el ensayo de respuesta térmica en casos donde la aproximación no sea suficiente y sea necesario un mayor alcance de detalle en la investigación.

Por otra parte, resulta indispensable definir, difundir y normalizar las metodologías necesarias para que las futuras instalaciones cumplan los requisitos técnicos necesarios para garantizar el uso de la energía geotérmica, los materiales idóneos y los adecuados niveles de seguridad. Para ello, las normas y procedimientos técnicos son documentos que garantizan la ejecución regulada y priman por las reglas y

métodos utilizados, las características para las mercancías o servicios, procesos relacionados, o métodos de producción. En este sentido, deben ser el resultado de la investigación, su aplicación en casos reales, la realización de los ensayos y pruebas pertinentes, el análisis de los materiales utilizados y la definición de los más idóneos. Sobre todo, permite hacer la trazabilidad de los resultados por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con magnitudes de influencia establecidas generalmente patrones nacionales o internacionales.

A nivel europeo, desde el *European Geothermal Energy Council, EGEC* (Consejo europeo de energía geotérmica) se ha definido una agenda de investigación que marca, entre otras, las siguientes tecnologías como prioritarias en cuanto a la metodología y los objetivos en materia de geotermia somera:

1. Sistemas híbridos de producción de calor y frío: Uso de las reservas geotérmicas como pozos de calor.
2. Bomba de calor agua – agua para usos geotérmicos.

#### **II.4 Medidas de impulso para el desarrollo de la geotermia somera**

En España existe un alto potencial de utilización de este tipo de energía. Los recursos geotérmicos de baja y muy baja temperatura son muy elevados en comparación con los de alta y media temperatura, extendiéndose prácticamente a la totalidad de la península. Sin embargo, la tecnología del intercambio geotérmico se encuentra en España en una fase incipiente. Distintas barreras han dificultado la implantación de esta tecnología y nos sitúan en una posición de retraso respecto a los países más avanzados de la UE próxima a los 20 años. Las menores demandas térmicas y costes de la energía en nuestro país, que explican en buena medida este retraso, concentran el punto de atención en los desarrollos tecnológicos que sean capaces de reducir los costes de implantación o de incrementar los ahorros proporcionados por estos sistemas. Los principales retos tecnológicos están relacionados con los siguientes campos y actuaciones:

- Desarrollo normativo y legislativo: Normas técnicas o recomendaciones para la redacción de proyectos y ejecución de sondeos, instalación de captadores, etc.
- Realizar un registro de instalaciones geotérmicas de baja temperatura
- Incluir las posibilidades de aprovechamiento geotérmico en documentos como el RITE, Código Técnico de la Edificación, etc.
- Fomentar el crecimiento de empresas instaladoras cualificadas, implicación de empresas de sondeos y cimentaciones
- Promover el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías y aplicaciones
- Realizar actuaciones de promoción y difusión

#### **II.5 Sostenibilidad**

En los aprovechamientos geotérmicos someros, el uso del agua subterránea como recurso térmico debe garantizar que las afecciones a las masas de agua que se

puedan generar desde el punto de vista cuantitativo (en las extracciones sin reinyección) y cualitativo, sean bien conocidas y ambientalmente aceptables.

Por otra parte, los sistemas de circuito cerrado van a generar en los próximos años un importante número de perforaciones en áreas, normalmente urbanas, con escasas experiencias en este tipo de perforaciones y en sus posibles afecciones. Además se corre el riesgo de introducir en el sector de la perforación a empresas y profesionales sin la debida capacitación técnica o con escasa experiencia. Será preciso arbitrar medidas inteligentes que aseguren la minimización de las posibles afecciones sin perjudicar la implantación de esta energía con un balance ambiental global netamente positivo.

El diseño y selección de los sistemas de relleno y sellado del anular de los sondeos de intercambio geotérmico debe ejecutarse desde un conocimiento suficiente del funcionamiento hidrogeológico de los materiales perforados. Deberá garantizarse la mínima afección a la formación acuífera y el mejor rendimiento térmico del intercambiador.

En cuanto a los sistemas de intercambio geotérmico, la sostenibilidad energética se puede entender como la capacidad para cubrir las demandas térmicas previstas a lo largo de la vida del edificio. Más allá de la vida útil de los intercambiadores, normalmente equivalente a la del edificio, se trata de asegurar un equilibrio entre las componentes naturales del sistema, las extracciones y las inyecciones. Esto requiere un diseño racional del sistema basado en el conocimiento de las cargas y demandas térmicas del edificio y de las características geológicas, hidrogeológicas y termogeológicas del terreno. El objetivo es equilibrar las extracciones e inyecciones de energía térmica, que se puedan realizar en el terreno, con la capacidad de regeneración natural del mismo. Se trata de un sistema complejo que puede presentar grandes variaciones y es preciso estudiar de manera particularizada.

Los efectos positivos y repercusiones que sobre el medioambiente tiene el uso energético de la energía geotérmica somera deben entenderse según dos puntos de vista: la sostenibilidad ambiental (asegurar la menor afección al medio), y la sostenibilidad energética (mantener las condiciones térmicas del recurso geotérmico).

Sostenibilidad Ambiental	Sostenibilidad Energética
Mantenimiento de las condiciones de los recursos del subsuelo	Mantenimiento de las condiciones térmicas del recurso geotérmico
Disminución de emisiones de CO <sub>2</sub>	Recurso renovable
Nulo impacto visual	Autosuficiente: puede aportar el 100 % de la necesidad
Nulo impacto sonoro	365 días, 24 horas de funcionamiento

*Efectos ambientales del uso de la energía geotérmica*

## II.6 Beneficios de la geotermia.

Hemos de partir de la base de que la energía es un elemento esencial en el desarrollo económico y social. A medida que los países se desarrollan, el consumo de energía sigue creciendo con implicaciones para el medio ambiente. La concienciación de esta realidad ha llevado en los últimos años a la preocupación por la preservación de recursos para futuras generaciones y ha motivado el concepto de desarrollo sostenible. Este desarrollo sostenible ha de lograrse en un contexto caracterizado por la liberación e integración de los mercados, por la tendencia a la globalización de las economías y por el gran reto que supone el control y la contención del cambio climático.

El actual escenario de precios de combustibles fósiles, junto con las implicaciones medioambientales del consumo de éstos, hace que todos los gobiernos dirijan sus esfuerzos al fomento de las energías alternativas o limpias con el fin de conseguir un desarrollo sostenible desde un punto de vista económico, social y ambiental y a su vez cumplir la reducción de gases de efecto invernadero según los compromisos adquiridos con la firma del protocolo de Kyoto. Paralelamente la sociedad actual, en el contexto de un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles y de una mayor sensibilización ambiental, demanda cada vez más la utilización de las energías renovables y la eficiencia energética. En este contexto político-social, la energía geotérmica es una de las fuentes de energía renovable menos conocida pero ofrece una amplia gama de posibles aplicaciones.

Tradicionalmente el sector residencial y de servicios ha consumido para fines térmicos gasóleo, electricidad, gas natural o gases licuados derivados del petróleo, todas ellas energías no renovables, caras y de alta dependencia del exterior, que conviene ahorrar y sustituir por otras energías alternativas.

El bajo nivel térmico de la demanda permite utilizar la energía geotérmica de baja temperatura en estos casos, ya sea de manera directa o a través de bombas de calor que permiten incrementar el potencial energético de los pozos e incluso extraer calor de yacimientos de muy baja temperatura, que no serían explotables con métodos convencionales. Se trataría de una tecnología eficiente para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria con unos importantes ahorros energéticos.

### Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Con la utilización de la energía geotérmica somera para climatización y ACS se consigue disminuir el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera, en comparación con cualquier otra energía convencional, contribuyendo a alcanzar los compromisos internacionales adquiridos por España con la firma del Protocolo de Kioto.

De la figura que se muestra más abajo, se deduce que, tomando como referencia una potencia media instalada en España de 80 MW, se consigue evitar la emisión de 37,4 ktCO<sub>2</sub>. Para obtener dicha cifra se ha partido de las estimaciones y valores enumerados reflejados en las tablas siguientes. Se entiende que la potencia instalada se dedica en un 50% al sector residencial terciario y en un 50% al sector doméstico:

	Sector terciario residencial	Sector doméstico
Potencia instalada	40 MW	40 MW
Nº horas func.	1 2.000 h	2.400 h
Comparación con:	Bombas de calor foco aire + enfriadoras	Caldera a gas

	$K_{CALo}$	$K_{CO2}$	$K_{elec}$
Factores de Conversión	0,0905263 ktep/GWh <sub>ter</sub>	4,27 ktCO <sub>2</sub> /ktep	0,086 ktep/GWh <sub>ter</sub>



*Flujos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas para la potencia media instalada en España*

Otra gran ventaja de este tipo de sistemas es que las condiciones geológicas para su aprovechamiento son poco exigentes, ya que prácticamente se puede aprovechar este tipo de recursos energéticos del subsuelo en la totalidad del territorio, bien por la existencia de acuíferos someros o bien a través del propio subsuelo. En este sentido y considerando periodos a escala humana, se trata de una fuente de energía inagotable.

Por último ha de destacarse el hecho de que se trata de una tecnología que no genera residuos de difícil tratamiento.

En resumen, todos estos aspectos beneficiosos asociados a las oportunidades que ofrece la energía geotérmica somera pueden integrarse en los contenidos de la siguiente tabla:

<b><i>Beneficios sociales de la geotermia somera</i></b>
1. Carácter universal. Se fundamenta en un recurso disponible que está en todo el territorio.
2. Garantía de bienestar y confort
2.1. Satisfacción de la demanda de climatización y A.C.S.
2.2. Desarrollo de actividades de ocio y aplicaciones terapéuticas de las aguas geotérmicas (spas, piscinas, balnearios, etc.)
3. Sostenibilidad del modelo ambiental global (reducción muy importante de emisiones gaseosas y no generación de residuos de difícil tratamiento)
4. Sostenibilidad del modelo económico
5. Nulo impacto visual
6. Ahorro energético de aproximadamente un 75% en relación a los sistemas convencionales
7. Energía autóctona. Disminución de dependencia energética y de emisiones de CO <sub>2</sub>
8. Contribuye a la reducción de los picos de energía
9. En sistemas combinados frío-calor, la eficiencia energética es mayor
10. Disponible 24h, y 365 días al año

## **II.7 Rendimientos económicos.**

Cuando se habla de energía geotérmica somera o de baja entalpía se habla normalmente de generación de calor, no de electricidad. Por ello, los costes incurridos en las instalaciones han de ser ahorrados en la vida de la instalación. Se han de considerar períodos de retorno, y estos dependen de multitud de factores.

Los sistemas convencionales de climatización necesitan como alimentación, bien fuentes fósiles cuando se trata de gas natural, gasóleo, propano, butano, carbón, etc. bien el aire cuando se trata de bombas de calor condensadas por aire. Ninguna de ellas necesita grandes inversiones para encontrar su fuente de alimentación.

Las inversiones a las que hay que hacer frente en las instalaciones convencionales son únicamente las derivadas de la propia instalación de generación de calor, que normalmente se centran en una acometida o acumulación energética que cubra cierta autonomía. Sin embargo las instalaciones geotérmicas necesitan inversiones iniciales para encontrar su foco de calor (o de frío según el caso). El campo de captación se encuentra debajo del terreno y por ello requiere de una infraestructura adicional. Bien es cierto que la única fuente energética necesaria para la bomba de calor es la electricidad.

La bomba de calor geotérmica, está especialmente diseñada para trabajar en las condiciones de evaporación y condensación concretas y muy adecuadas para un buen



funcionamiento. Debido a ello goza de unos rendimientos (expresados en forma de COP) realmente altos, superiores a cuatro. Esto quiere decir que de la energía necesaria para la instalación, prácticamente las tres cuartas partes es obtenida del terreno y la cuarta parte restante proviene de la electricidad, necesaria para el funcionamiento del compresor de la bomba de calor.

Es aquí, y en los grandes ahorros en el mantenimiento donde estas instalaciones encuentran unos períodos de retorno que las hacen rentables. Dichos períodos oscilan entre los 5 y los 15 años, dependiendo del consumo energético de la instalación y de la fuente energética contra la que se compare. Debido a los materiales empleados y debido también a la simplicidad de la instalación, éstas están garantizadas por más de veinte años de funcionamiento.

Sin embargo, actualmente en España no existe una regulación tarifaria para las aplicaciones de producción de energía térmica y no se refleja en ningún momento el empleo de esta fuente renovable. Debido a sus innumerables beneficios, a su carácter renovable y a su capacidad para aplanar la curva de consumo en verano, la geotermia somera debería de estar primada para poder alcanzar períodos de retorno razonables.

En una estimación presentada en 2009 por fuentes de EREC (*European Geothermal Energy Council*, - Consejo Europeo de Energía Geotérmica), se situaban los costes de las instalaciones de climatización con geotermia somera en 2005 en una horquilla entre los 7,2 y los 270 €/MWh (61 €/MWh de media) para calefacción, y entre los 7,2 y los 350 €/MWh (16 €/MWh de media) para refrigeración. Además se fijan unos objetivos de reducción de esos costes en torno a un 8 – 10 % para el año 2030.

## **II.8 Marco legal.**

De forma paralela a lo presentado para el caso de la geotermia profunda, se incluyen a continuación algunas de las aportaciones más relevantes de la legislación relacionadas con la contemplación y posibilidad de desarrollo de la geotermia somera:

Una de las líneas para luchar contra el cambio climático y el calentamiento global se basa en la utilización racional de la energía necesaria para la calefacción y refrigeración de los edificios, reduciendo consumos e intentando que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, y entre ellas de la energía geotérmica.

El Consejo Europeo de Jefes de Estado y Gobierno, de marzo de 2007, decidió establecer objetivos obligatorios para la UE en el año 2020, entre otros, cubrir el 20% del consumo de energía a partir de fuentes renovables.

A su vez, la Comisión Europea presentó el 23/1/2008 el paquete de energía y cambio climático, que incluye una Propuesta de nueva Directiva de Energías Renovables (publicada el 23 de enero de 2008). Contiene un reparto del objetivo entre los Estados miembros, teniendo en cuenta los diferentes puntos de partida y recursos potenciales, la distancia a recorrer por el conjunto de la UE y el producto interior bruto per cápita de cada uno:



	2005	2020
UE-27	8,4%	20%
España	8,7%	20%

*Porcentaje de consumo cubierto por las energías renovables*

egún esta Directiva cada Estado miembro debe establecer un Plan de Acción Nacional. Estos Planes Nacionales deben contener objetivos para todos los usos, entre ellos las aplicaciones de calor y frío. Deben proponer las medidas necesarias a llevar a cabo para alcanzar los objetivos. Los Estados miembros que no cumplan con los objetivos intermedios indicativos deberán revisar sus planes nacionales. Los Estados miembros debieron notificar sus Planes Nacionales a la Comisión Europea antes del 31 de Marzo de 2010.

El 17 de diciembre de 2008 el Parlamento Europeo aprueba una propuesta de Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, que reconoce la geotermia como una energía renovable más, incluyéndola dentro de la definición de “energías procedentes de fuentes renovables.” Dispone que la energía geotérmica capturada por las bombas de calor se incluirá dentro del cálculo de “consumo final bruto de energía procedente de fuentes renovables para la calefacción y la refrigeración” de cada Estado Miembro.

En Abril de 2009, se aprobó la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE), en la que se reconoce a las tecnologías geotérmicas en los términos aprobados por el Parlamento Europeo. Esta Directiva supone un cambio cualitativo en lo referente a geotermia somera ya que:

- Establece una definición clara de qué es la geotermia (a diferencia de lo que la Directiva denomina aerotermia e hidrotermia).
- Zanja la estéril polémica acerca del carácter renovable de la producción de calor geotérmico, tanto en su vertiente de uso directo como mediante bombas de calor.
- Establece una fórmula para cuantificar la cantidad de calor renovable que producen las bombas de calor en función de su rendimiento estacional.
- Establece la obligación de contar, para 2012, con un sistema de acreditaciones en toda la UE para lo que la Directiva denomina Shallow geothermal installers, es decir, instaladores de geotermia somera.
- Recoge el fomento de las redes de climatización de distrito alimentadas por energías renovables donde la geotermia se constituye como una de las fuentes de energía directa más eficientes y económicamente rentables.

En Europa, la experiencia de algunos países más avanzados en la aplicación de esta fuente de energía ha facilitado la puesta en marcha de algunos proyectos que faciliten la inserción de la geotermia somera y sus posibilidades dentro de las distintas normativas. Así, se tiene:

- Ground-Reach. Incluye en su objeto la compilación de las mejores prácticas así como de las regulaciones para bombas de calor en Europa, y el establecimiento de medidas para superar las barreras que puedan impedir una mayor penetración de las mismas, incluyendo de tipo legal/regulatorio.
- A través del Programa Marco, principal instrumento de financiación de la I+D en la UE, se han financiado varios proyectos en el campo de la energía geotérmica, entre los que cabe resaltar:
  - Ground-Med - *Advance ground source heat pump systems for heating and cooling in Mediterranean climate* (Sistemas avanzados de bomba de calor geotérmico para climatización en el clima mediterráneo), con un presupuesto global de 7,25 millones de €.

Por otra parte, en lo relativo a la legislación española, el Real Decreto que aprueba el Código Técnico de Edificación manifiesta que el proceso de la edificación, por su directa incidencia en la configuración de los espacios habitados, implica un compromiso de funcionalidad, economía, armonía y equilibrio medioambiental, de evidente relevancia desde el punto de vista del interés general y, por tanto, de las políticas del Gobierno. El sector de la edificación es además un sector económico con importantes repercusiones en el conjunto de la sociedad y en los valores culturales y medioambientales que entraña el patrimonio arquitectónico.

Las prescripciones del Código Técnico de la Edificación, por medio del Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, se orientan en esta dirección, fomentando unas adecuadas características de proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Una de las fuentes de energía que más puede contribuir en la lucha contra el cambio climático es la energía geotérmica de baja entalpía, que como ya se ha explicado, basa su principio en la capacidad que tiene el terreno para acumular el calor procedente del sol. Constituye una alternativa interesante, dado que puede emplearse para obtener energía calorífica del subsuelo y transmitirla a través de sistemas y materiales adecuados a los edificios. En forma inversa, el mismo principio se puede utilizar también para refrigeración, trasladando simplemente el calor innecesario al subsuelo. El Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, tiene por objeto conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

La utilización de la energía geotérmica en cimentaciones profundas se configura como una fuente de energía renovable y limpia y promete ser una alternativa de uso extendido, sin embargo, no existe ni a nivel nacional, ni europeo una normativa que regule estas características, que tendría como objetivo principal establecer las directrices que normalicen y garanticen su correcta utilización. Entendemos que un proyecto de estas características posicionaría a España como referencia en la utilización de este tipo de energía.

## II.9 Conclusiones

La geotermia somera constituye un inmenso recurso energético de baja y muy baja temperatura albergado en la totalidad de la corteza terrestre a una distancia relativamente pequeña de la superficie.

Por sus características, este recurso ofrece unas enormes posibilidades de abastecimiento energético que han venido siendo aprovechadas históricamente. Así, a día de hoy se cuenta con una considerable capacidad instalada a nivel mundial y unos avances tecnológicos maduros que posibilitan unas economías de escala en su campo que gradualmente le permiten irse posicionando como una solución más a la crisis energética actual.

La apuesta por esta tecnología en épocas recientes en distintos países ha permitido comprobar los grandes beneficios de una fuente de energía abundante, limpia, sostenible para el medio ambiente y, gracias a su eficiencia y características técnicas de su aprovechamiento, capaz de proporcionar ahorros energéticos muy importantes en diversas aplicaciones (calefacción, refrigeración, abastecimiento de agua caliente sanitaria, etc.)

En España, sin embargo, pese a la existencia de un elevado potencial de utilización extendido por toda la Península, esta fuente de energía se encuentra en una etapa incipiente, en claro retraso respecto a Europa con una estimación de 60-80 MW de potencia instalada.

Por todo ello, ha llegado el momento de trabajar por superar las distintas barreras que han dificultado en este tiempo la implantación de la geotermia somera en nuestro país. España necesita promover el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías y aplicaciones basadas en esta fuente de energía, fomentar el crecimiento de empresas cualificadas, así como su implicación en el sector, y por encima de todo, desarrollar un marco normativo y legislativo específico que incluya las posibilidades del aprovechamiento geotérmico en los códigos y reglamentos (CTE, RITE, etc.), que genere normas o recomendaciones técnicas para la adecuada y eficiente redacción de proyectos y ejecución de sondeos e instalaciones, y que defina una regulación tarifaria para la producción de energía térmica. Así, se ayudará a reducir la incertidumbre derivada del riesgo en la inversión inicial y se impulsará el desarrollo de la geotermia somera hacia un futuro inmediato mucho más sostenible.

Si bien este marco regulatorio tiene que producir que la expansión de esta tecnología en nuestro país sea de manera gradual y que las instalaciones mantengan sus estándares de calidad y sus altos rendimientos.

## II.10 Bibliografía

- Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT). (2010) “Documento de Visión a 2030”
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (junio de 2008) “Manual de geotermia”

### III. USOS TÉRMICOS Y APLICACIONES DE LA GEOTERMIA

#### III.1 Generalidades

Las aplicaciones de la energía geotérmica más conocidas pasan por la producción de electricidad o por la obtención de calor directo para el empleo en edificación. Sin embargo existen multitud de aplicaciones, de uso directo, bien mediante intercambio directo o mediante la bomba de calor, en las que se utiliza o puede utilizar la geotermia de forma muy beneficiosa. En este capítulo se pretende abordar aquellas aplicaciones y usos no contemplados en los otros dos grupos.

Del mismo modo, como uso térmico que es, también se tratarán en mayor profundidad las aplicaciones térmicas de la geotermia somera y profunda para la edificación ampliando lo presentado en los capítulos previos correspondientes.

Desde el punto de vista de la utilización del recurso geotérmico, son variadas las aplicaciones que desde tiempos históricos se están utilizando. Ya el hombre en la antigüedad utilizaba las cavernas para guarecerse del frío.

En función de la temperatura del foco, es decir en función de la temperatura de uso del fluido que viene del terreno y también dependiendo de la necesidad térmica, se podría hacer una primera aproximación para la división de la aplicación en dos grandes sistemas; el de utilización directa mediante intercambiador o el de aplicaciones con apoyo de bomba de calor.

Cuando de lo que se trata es de trasladar calor de un foco caliente a otro más frío, el proceso es sencillo. Aquí se dice que el uso es directo. Únicamente se precisa un intercambiador de las características precisas. Cuando de lo que se trata es de aportar energía (o calor) de un foco de menor temperatura a otro más caliente, decimos que tenemos que “bombear” energía y para ello necesitamos una “bomba de calor”. Con la tecnología existente se puede realizar este proceso con altos rendimientos ya que prácticamente se obtiene del terreno las tres cuartas partes de la energía que se suministra. La tecnología existente permite bombear calor de un foco más frío a uno más caliente (como es el caso, aunque inverso, de los frigoríficos domésticos), por lo que no es necesario que el foco que aporta calor esté a mayor temperatura que el que lo recibe. Es por ello que se dice que el sistema debe de tener un apoyo de bomba de calor.

En cuanto al aprovechamiento directo, como el foco caliente está a mayor temperatura que el foco que recibe el calor, es fácil concluir que para la mayor parte de los aprovechamientos necesitemos un lugar propicio para ello, es decir un lugar donde se pueda extraer calor a una temperatura relativamente alta. Las aplicaciones son diversas: hablamos de secaderos, piscinas, balnearios, diversas aplicaciones industriales, además de las de calefacción y a.c.s. para colectividades, etc. Todos ellos son procesos más que conocidos desde hace ya mucho tiempo.

Las aplicaciones con apoyo de bomba de calor, requieren niveles de temperatura menos elevados y sus usos pueden ser muy diversos (invernaderos, piscicultura, obra civil y carreteras, etc, pero principalmente en los sistemas de calefacción y

refrigeración (climatización) aprovechando que el proceso puede ser reversible y se puede “bombear calor al terreno”.

## **III.2 Aplicaciones**

### **2.1 Aplicaciones para la climatización de edificios**

En aplicaciones térmicas para la edificación, dependiendo del recurso existente y del tipo y dimensión de la demanda, se podrá plantear un aprovechamiento directo con intercambiador o un aprovechamiento somero con bomba de calor. Si la aplicación es directa se deberá analizar exhaustivamente la información del subsuelo profundo, y el tamaño, distribución y estabilidad de la demanda. En ambos casos, es imprescindible analizar todo el sistema de trabajo, distribución y emisión de calor (y, en su caso, frío). Finalmente, no hay que olvidar que el éxito de la instalación dependerá no sólo de la fiabilidad de su funcionamiento sino de la rentabilidad de la solución.

#### **2.1.1 Aprovechamiento directo**

Los fluidos geotérmicos de baja temperatura ( $< 100^{\circ}\text{C}$ ), tal como se ha comentado, pueden ser utilizados para la aplicación directa del calor.

Las principales aplicaciones de este tipo, excluido el uso balneario, se concentran en el sector residencial (calefacción y ACS) y en la calefacción de invernaderos. En cualquier caso, debido al elevado coste de los sistemas de transporte del calor (tuberías térmicamente aisladas y protegidas contra la corrosión y el depósito de elementos disueltos), se requiere una importante demanda a poca distancia del aprovechamiento geotérmico. De hecho, para esquemas basados en almacenes sedimentarios profundos (del orden de los 2.000-2.500 m) se requiere una demanda en superficie del orden de unas 3.000 viviendas. Dado que en numerosos casos los recursos de baja temperatura se localizan en estos almacenes sedimentarios profundos, en los que el fluido disuelve gran cantidad de elementos minerales de la roca por la que circula caliente, los fluidos geotérmicos se convierten en salmueras con elevados contenidos salinos.

Con objeto de evitar el deterioro ambiental que significaría un vertido de tales salmueras y para mantener las presiones en el yacimiento, el fluido geotérmico se inyecta en el yacimiento una vez que se le ha extraído la energía calorífica.

Se habla en estos casos de explotación mediante doblete de sondeos; un sondeo de extracción por el que se obtiene, generalmente mediante bombeo, el fluido geotérmico. Tras su paso por el llamado intercambiador primario, el fluido ya enfriado es reinyectado en el yacimiento a través de un segundo sondeo (sondeo de inyección).

Los dos sondeos que constituyen el doblete suelen ser perforados a escasos metros de distancia en superficie, con lo que el circuito geotérmico en superficie se reduce a las dos cabezas de pozo y el intercambiador primario. Por regla general, la plataforma sobre la que se sitúa la maquinaria de perforación es la misma para ambos sondeos. En profundidad, los sondeos no suelen ser verticales en su totalidad; lo más habitual, es que al menos uno de ellos se desvíe a partir de cierta profundidad.

De este modo, en profundidad, en la zona donde se localiza el yacimiento geotérmico, los sondeos se encuentran distanciados de forma muy notable. Mediante la simulación matemática de las condiciones del yacimiento se calcula la distancia a la que deben quedar situados en profundidad los puntos de extracción e inyección, de tal modo que el avance del llamado frente frío producido por la inyección del fluido no alcance al punto de extracción en la vida del doblete (estimada en unos 20-25 años) de modo significativo y que éste sea inferior a 1°C al final de dicho periodo.

Como energía de base, la geotermia se adapta de forma muy adecuada a sistemas que tengan un consumo energético lo más constante posible a lo largo del año. De esta forma el consumo de ACS, o consumos de calor similares, permiten rentabilizar la explotación geotérmica de modo muy favorable.

Sin embargo, las necesidades de calefacción no son constantes a lo largo del año. La curva de carga o de potencia térmica demandada, que se obtiene para cada localización a partir de las temperaturas en cada sitio y el número de horas que se registran estas temperaturas, permite conocer el número de horas que se demanda una cierta potencia. Pretender cubrir las puntas de demanda energética mediante la energía geotérmica conlleva un incremento muy elevado de inversiones y una disminución fuerte del número de horas de utilización de la geotermia y, por tanto, de una merma en su rentabilidad.

Con objeto de adecuar el empleo de la geotermia a unas determinadas condiciones de la demanda energética, se suele adoptar una solución que consiste en utilizar la geotermia como energía de base para el suministro energético y una fuente de apoyo (en muchos casos la caldera tradicional a la que la geotermia viene a sustituir) que suministre las puntas de demanda. Como orden de magnitud se habla de la cobertura mediante geotermia del 50% de la potencia máxima demandada, lo que equivale a cubrir mediante la geotermia el 80% de la demanda energética total.

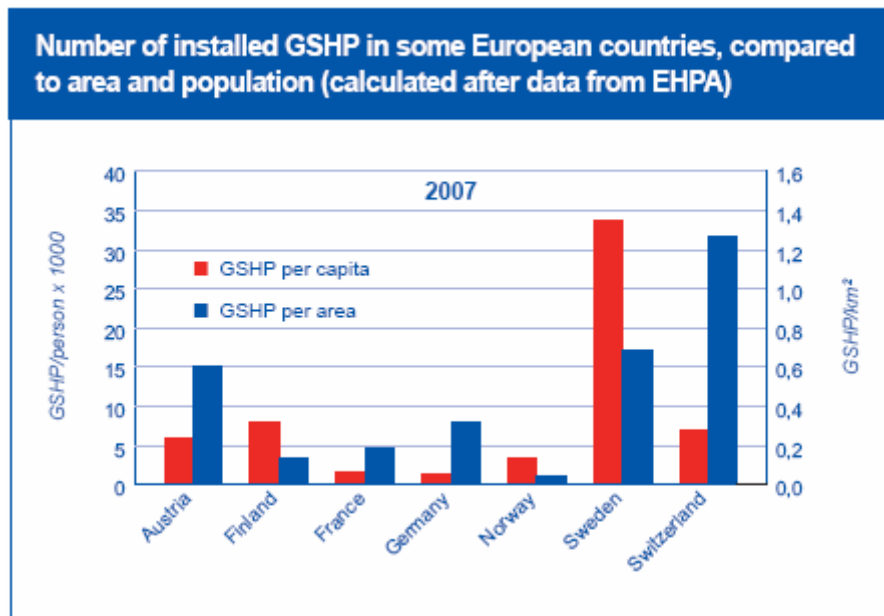
En cuanto al resto de las características de los sistemas de distribución del calor, etc., se puede decir básicamente que son similares a los de centrales térmicas convencionales utilizadas en los sistemas de calefacción de distrito. En todo caso, es conveniente señalar que los sistemas geotérmicos se adaptan de manera más favorable a los sistemas de calefacción de baja temperatura (suelos radiantes o radiadores de baja temperatura) que a los sistemas más antiguos que utilizan radiadores con agua a muy alta temperatura.

### **2.1.2 Geotermia somera con bomba de calor**

La bomba de calor agua-agua empleada en aplicaciones geotérmicas o GSHP (*Ground Source Heat Pump*) del inglés, es una tecnología para calefacción y refrigeración de edificios ampliamente empleada en muchas zonas de Europa. Un sistema basado en esta tecnología consta de tres partes esenciales: un circuito primario, la bomba de calor en sí misma y un circuito secundario de distribución hacia los elementos terminales. Un buen diseño debe cuidar todas estas partes de forma que su conexión posibilite la mayor eficiencia y a su vez, el mayor confort.



En los últimos años, el mercado de las GSHP ha experimentado un tremendo desarrollo en algunos países europeos. Suecia, Suiza, Alemania o Francia son algunos de ellos, los cuales, aunque con diferentes recorridos en ese desarrollo han obtenido un uso exitoso de esta tecnología.



La bomba de calor permite la transformación de calor desde un nivel de baja temperatura a otro superior mediante el uso de un trabajo externo (aportado por un compresor). La cantidad de energía externa necesaria debe ser la menor posible para mantener el interés ecológico y económico de la tecnología.

La cantidad de calor que se puede obtener depende de la diferencia de temperatura entre el foco frío (el terreno) y el foco caliente (vivienda). Cuanto menor sea esa diferencia de temperatura, mayor será el rendimiento y mayor eficiencia tendrán las máquinas; por eso el suelo radiante o los fan-coils, sistemas que trabajan a baja temperatura, son muy indicados para estas instalaciones; por eso mismo la geotermia, al estar la Tierra más caliente que el aire, ofrece mejores resultados que la aerotermia.

La medida de la eficiencia de una bomba de calor se realiza mediante un parámetro denominado COP (*Coefficient of Performance*) mayor que la unidad. Aunque esto puede parecer imposible, ya que supone rendimientos muy superiores al 100 %, tiene su explicación en que estas máquinas consumen energía para mover calor, en lugar de emplearla para producir calor, como en el caso de la mayoría de los sistemas convencionales de climatización. Es por esto por lo que decimos que una bomba de calor geotérmica, que suelen tener un COP superior a 4 puede llegar a tener un rendimiento del 500 %. Para explicar más detalladamente qué es el COP, ha de señalarse que el calor transmitido al foco caliente (la energía necesaria para climatizar la casa) es la suma del calor extraído del foco frío más la potencia consumida por el compresor, que se transmite al fluido:

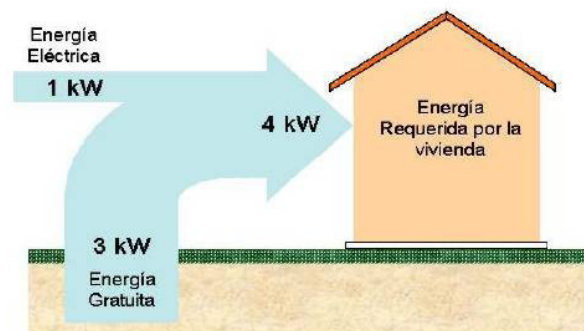
$$\text{Calor cedido} = \text{Calor extraído del foco frío} + \text{Trabajo eléctrico aportado}$$

De esta forma, se define el COP como la relación entre la energía útil (el calor suministrado por la bomba de calor) y la energía consumida (para hacer funcionar el compresor), de ahí su importancia, ya que nos permite saber, según se ha indicado, cómo de eficiente es una bomba de calor.

$$\text{COP} = \text{Calor útil cedido} / \text{Trabajo eléctrico aportado}$$

El COP de una bomba de calor geotérmica está entre 4 y 6, superando al de las bombas de calor más eficientes aire-aire (tan implantadas en el ámbito doméstico), estimado entre 2 y 3. Esto quiere decir que por cada unidad de energía eléctrica que usa el sistema se obtienen 4 o más unidades de energía en forma de calor o frío. En concreto, cuando el sistema está calentando se debe aportar una cuarta parte de la energía calorífica que se obtiene (rendimiento 400 %), y cuando está enfriando sólo una quinta parte (500 %).

Dado que inicialmente esta tecnología se desarrolló en regiones con inviernos muy crudos, se suelen destacar los importantes ahorros tanto de energía como económicos, que permite la geotermia de baja temperatura para calefacción en los países fríos. Y mayor rentabilidad se obtiene, como hemos visto, cuanto menor es la diferencia de temperatura entre la tierra y el ambiente a climatizar, por lo que si en los países nórdicos que diseñan estos equipos se logran grandes rendimientos, en España la rentabilidad es aún mayor, llegando a ahorrar un 65 - 75% de los costes en calefacción. Además, en nuestro país cada vez se consume más energía para refrigeración en verano, por lo que la rentabilidad de las bombas de calor geotérmicas sería aún mayor.



Actualmente la utilización de bombas de calor se justifica, además de por el ahorro energético que suponen, también por su contribución a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El consumo de energía es muy inferior a los medios tradicionales de calefacción; la energía consumida es la eléctrica, y es empleada para poner en marcha el compresor y los circuladores que realizan el intercambio de calor. Por tanto, el efecto sobre el medio ambiente de las bombas de calor en general es función de su producción energética frente al consumo de fuentes primarias de energía necesario para producir la electricidad que consume la bomba de calor. Las bombas de calor que aprovechan recursos geotérmicos producen en prácticamente todos los casos mayor energía que la cantidad de energía primaria necesaria para el funcionamiento del equipo. Esto es así porque la cantidad de energía extraída del terreno es cuatro o

cinco veces superior a la energía consumida para su extracción, por lo que aporta más de un 75% de energía renovable para cubrir la demanda térmica. Su utilización, dependiendo de la fuente de energía convencional con la que se la compare, supone reducir entre el 50% y el 80% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Estamos, por tanto, ante una energía renovable, carente de impacto sobre el clima y respetuosa con nuestro entorno. Por ello, la energía geotérmica es la mejor opción para las instalaciones de climatización: esta energía es totalmente ecológica, pues proviene de un recurso natural renovable que es el calor del suelo.

Por otra parte el proceso no deja residuos y su huella ambiental es mínima: el nivel freático no se deprime (ya que incluso en los casos de sistemas abiertos que usan agua subterránea ésta es devuelta al acuífero) y el terreno en poco tiempo vuelve a su temperatura habitual. Además, se utilizan anticongelantes inocuos para el medio ambiente y la mayoría de los materiales empleados en las instalaciones son reciclables.

Y al igual que en cualquier caldera convencional hay una serie de motores, bombas y compresores que consumen energía eléctrica, como la misma bomba de calor, pero el consumo de estos equipos es comparable con el de los sistemas de climatización más ecológicos como pueden ser los basados en la captación de energía solar y a diferencia de ellos, los colectores no producen el impacto visual en el paisaje.

Para concluir este apartado, merece la pena mencionar un reto de la investigación actual en la tecnología de bomba de calor que aspira más si cabe a aumentar la componente ecológica de la misma. Durante los últimos años se han instalado centenares de bombas de calor geotérmicas que usan CO<sub>2</sub> como fluido de intercambio en centro-europa (Austria, Alemania). En comparación con otros sistemas las bombas operadas con CO<sub>2</sub> ofrecen una reducción del consumo de electricidad y una mayor eficiencia, respectivamente, debido a la circulación natural del fluido de trabajo. Además, la aplicación de CO<sub>2</sub> implica favorables características de transferencia de calor y es absolutamente inocuo para el suelo.

Las ventajas de de la bomba de calor operada con CO<sub>2</sub> son:

- Gastos de explotación mínimos, ya que no se necesita una bomba propulsora en el circuito de las sondas operadas con CO<sub>2</sub>.
- Utilización viable también en zonas de protección y preservación hídrica.
- No hay pérdidas de calor por la existencia de intercambiadores de calor adicionales.

## **2.2 Otras aplicaciones y tecnologías en desarrollo**

Además de los usos y tecnologías comentadas anteriormente para la climatización total de viviendas (calefacción, climatización y agua caliente sanitaria) tomando la energía que el subsuelo puede proporcionarnos (aparentemente de poca calidad –muy

baja temperatura - puesto que la temperatura de intercambio es de aproximadamente 15 °C), se pueden citar otras alternativas en desarrollo tales como:

### **2.2.1 Aplicación a las Nuevas Edificaciones y Obras Públicas**

Las posibilidades de explotación de la energía geotérmica mediante usos directos se multiplican si en lugar de limitarse a instalaciones en el interior de sondeos o zanjas en el suelo se aprovecha la existencia de elementos estructurales como pilotes, losas o pantallas. En tales casos, denominados específicamente “cimentaciones termo-activas” los elementos estructurales cumplen una doble función: por un lado deben ser capaces de soportar las cargas provenientes de la estructura y del terreno circundante y por otro lado constituyen el soporte material al que se anclan las conducciones hidráulicas que contienen el fluido intercambiador de calor con el terreno. Ellos permiten incorporar una instalación de aprovechamiento geotérmico a la construcción de una obra pública como un túnel, un puente, una estación de tren o una carretera. No hay que perder de vista el hecho de que cualquier obra pública supone necesariamente la instalación de grandes cantidades y superficies de hormigón o cemento en contacto directo con el terreno. Activar térmicamente estas masas de hormigón o cemento mediante la instalación de cualquiera de los elementos anteriormente citados permite extraer energía del terreno circundante, dando con ello un valor añadido a la estructura construida.



*Instalación del sistema de tuberías para el sistema geotérmico de calefacción de distrito para deshacer la nieve de las aceras. Oregon. Fuente: National Renewable Energy Laboratory (Laboratorio Nacional de Energía Renovable)*

En el caso concreto de los pavimentos de aceras, andenes, carreteras, etc. se conoce que durante el invierno, en función de las condiciones climatológicas de la zona, éstos pueden verse cubiertos de nieve lo que puede dificultar o incluso imposibilitar el tráfico. Para evitar situaciones de peligro, es fundamental realizar una cuidadosa labor de mantenimiento. La técnica más generalizada de lucha contra la presencia de nieve o hielo en los pavimentos de carreteras o puentes es la adición de sales. Se calcula que 30 millones de toneladas de sal se utilizan anualmente con este fin. Sin embargo, este método produce una serie de impactos negativos como la corrosión del hormigón o la contaminación del terreno o agua subterránea. La energía geotérmica, incluso de baja temperatura, puede aportar esta labor de mantenimiento desde abajo hacia arriba, utilizando una energía renovable y siempre accesible. En los casos de energía geotérmica de baja y muy baja entalpía, ésta puede ser explotada en un sistema mixto

de intercambiadores de calor alimentados mediante energía solar o simplemente mediante bombas geotérmicas.

### **2.2.2 Desalinización de agua**

Una de las aplicaciones innovadoras de la energía geotérmica contemplada en el proyecto europeo '*Key Issues for Renewable Heat in Europe*' (*Temas clave sobre el calor renovable en Europa*), es la posibilidad de aprovechar la energía del interior de la tierra para abastecer las necesidades del proceso de desalinización de agua de mar. El 97,5% del agua del planeta es marina. Del 2,5% de agua restante dulce, el 70% se encuentra en los polos formando los casquetes polares y la mayor parte del 30% restante se encuentra en acuíferos de variable accesibilidad. Un minúsculo porcentaje de agua dulce (menos del 1% del agua dulce, menos del 0,007% del total de agua del planeta) se encuentra accesible al consumo humano en ríos, lagos y acuíferos poco profundos. Por lo tanto, los océanos son una fuente alternativa de agua para el hombre, aunque la extracción de agua dulce a partir de ésta es un proceso que consume grandes cantidades de energía. Por ello, la combinación del aprovechamiento geotérmico para extraer energía y aplicarla en una planta desalinizadora abre nuevas posibilidades al desarrollo de esta tecnología.

Hasta el momento no existen muchas experiencias en este campo. Cabe destacar el caso de la isla de Milos, en Grecia, situada en un arco volcánico y, que debido a la intensa actividad magmática, presenta un elevado potencial de aprovechamiento geotérmico de alta, media y baja temperatura. En este contexto geológico se ha llevado a cabo un proyecto de construcción de una planta de desalinización de agua de mar totalmente alimentada por energía geotérmica. La capacidad de producción es de 75-80 m<sup>3</sup>/h de agua potable, a un precio realmente bajo (1,5 €/m<sup>3</sup>). Esta cantidad es suficiente para abastecer de agua potable a la totalidad de la isla. La explotación geotérmica que alimenta la planta desalinizadora está compuesta por 10 pozos de profundidad comprendida entre 70 y 185 metros, que producen un caudal total de 550 m<sup>3</sup>/h, de agua a una temperatura de 55-100°C.

### **2.2.3 Intercambiadores de calor tierra – aire.**

Los intercambiadores de calor tierra-aire consisten en tubos o redes de tuberías colocadas horizontalmente en el suelo a través de los cuales circula aire proveniente del exterior que luego se encamina hacia el edificio a través del sistema de ventilación convencional. La diferencia entre la temperatura del aire exterior y la del terreno da como resultado un efecto de calentamiento o refrigeración dependiendo de la época del año.

Su uso en acondicionamiento térmico de edificios e instalaciones se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos y en edificios públicos (hoteles, escuelas, oficinas,...) en los que en muchos casos permite un ahorro muy significativo de sus requerimientos energéticos, máxime cuando las actuales exigencias normativas en cuanto a renovación de aire y ventilación van a incrementar estas necesidades.



La temperatura del suelo cercano a la superficie a la profundidad de la zona neutra es un reflejo de la temperatura ambiente media si bien con cierto desfase temporal y también térmico. La temperatura del suelo está determinada por influencias meteorológicas, por parámetros térmicos y hidráulicos del suelo, su composición y naturaleza e incluso por su uso.

En una instalación tipo el aire penetra dentro del pozo o intercambiador por una toma de aire debidamente protegida que necesariamente debe contar con un filtro de protección contra los contaminantes, circula por canalizaciones enterradas gracias a un sistema de impulsión y es repartido por las estancias del edificio a climatizar asegurando un aporte de aire nuevo al local.

Durante los periodos fríos (invierno) el intercambiador calienta o precalienta el aire exterior lo que permite ahorrar energía al sistema de calefacción principal. Si el diseño es el adecuado el intercambiador tierra-aire puede en condiciones invernales duras precalentar el aire por encima de 0 °C, proporcionando así una función de protección contra las heladas para la instalación del agua. Este modo es el descrito y utilizado en los sistemas conocidos como “pozos canadienses”.

Durante los periodos cálidos (verano) el intercambiador consigue el efecto inverso enfriando el aire exterior llegando a reducir drásticamente las necesidades de utilización de los sistemas de refrigeración convencionales. En condiciones favorables es posible prescindir por completo de ellos. Este es el caso cuando las cargas de refrigeración del edificio son menores y además está equipado con componentes con capacidad de almacenamiento activo capaces de aprovechar los periodos nocturnos más frescos y no hay inconveniente en que se supere la temperatura de confort en un margen de 1 a 3 °C durante periodos de tiempo extensos. Este modo es el descrito y utilizado en los sistemas conocidos como “pozos provenzales”.

La utilización de intercambiadores tiene sentido desde el punto de vista energético cuando la cantidad de aire entregada es superior a la tasa requerida por el edificio. En el caso de mayores necesidades de refrigeración, es mejor utilizar otros sistemas que utilizan el agua como medio de transporte y que también se pueden combinar con de un método alternativo de generación de frío.



*Obra intercambiador aire-tierra Awadukt Supermercado TESCO (Septiembre 2006)*

Las ventajas de los intercambiadores tierra-aire son numerosas. En principio requieren una inversión mucho menor que una climatización reversible convencional,



especialmente si el diseño del edificio ya contempla dicha posibilidad, y por otra parte los requerimientos energéticos son completamente marginales implicando así mismo un entretenimiento y mantenimiento muy sobrios. Debe destacarse que el sistema es especialmente duradero y completamente sostenible y ecológico. La profundidad a la que se instalan, de orden métrico, no requiere complejos trámites administrativos ni ambientales a diferencia de otros sistemas más profundos.

#### **2.2.4 Aplicaciones industriales**

Las diferentes formas de utilización en el ámbito industrial, de este calor incluye: procesos de calefacción, evaporación, secado, esterilización, destilación, lavado, descongelamiento y extracción de sales, etc. aplicado en la industria de producción de papel y reciclado, procesamiento de celulosa, tratamientos textiles, industria alimenticia, pasteurización de leche, extracción de productos químicos, recuperación de productos petrolíferos, extracción de CO<sub>2</sub>, bebidas carbonatadas, etc.

#### **2.2.5 Mantenimiento de temperatura en bodegas**

Se trata de una aplicación muy poco extendida por el momento. Sin embargo, poco a poco se comienza a incluir en ciertos proyectos con el objetivo de convertir esta actividad vinícola en una actividad sostenible, eficiente en el uso de energía y mucho más respetuosa con un medioambiente del que además se nutre.

El proceso de elaboración del vino requiere su almacenamiento a una determinada temperatura, que suele ser ideal en torno a los 22 °C. Obviamente esto supone un esfuerzo energético tanto en invierno como en verano, que puede ser reducido notablemente con la aplicación de la energía geotérmica.

Tómese como ejemplo una de las instalaciones pioneras en este ámbito, llevada a cabo en una bodega riojana. En ella, lo que se hace es introducir casi 4.000 metros de tubos hasta 100 metros de profundidad e inyectar [agua](#) a temperatura ambiente que logra regresar a la superficie a una temperatura de 18 grados. Posteriormente, y ya en la superficie, una bomba de calor se encarga de convertir la energía recibida en frío o calor, dependiendo si se trata de invierno o de verano.



*Bodega riojana donde se ha aplicado la primera instalación geotérmica en el mundo destinada a la elaboración del vino.*

En este tipo de instalaciones, además de los consabidos beneficios ambientales se estiman unos periodos de recuperación de la amortización muy interesantes en torno a los cuatro o cinco años, gracias al [ahorro](#) energético.

### 2.2.6 Invernaderos

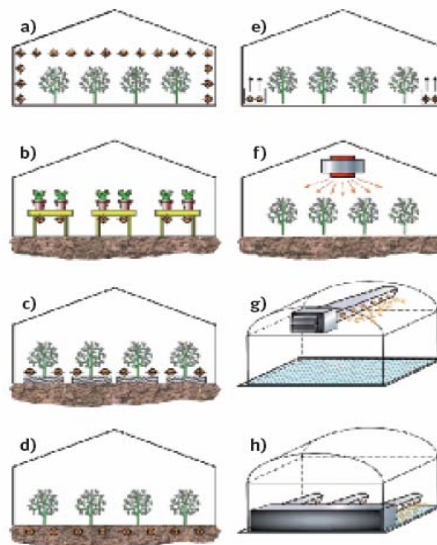
Las aplicaciones agrícolas de fluidos geotermiales en agricultura se centran en sistemas de calefacción a campo abierto e invernaderos.

Una solución óptima de aplicación de la geotermia en campo abierto consiste en combinar la calefacción del suelo con el regadío, controlando cuidadosamente la composición química de las aguas termales utilizadas con este fin.

El uso de invernaderos no se limita sólo a cultivos vegetales comestibles sino al cultivo de plantas ornamentales, flores, etc. Los invernaderos permiten alargar el periodo productivo de los vegetales a lo largo de todo el año, asegurando que la tierra no se hiele y proporcionando una estación de crecimiento más larga y un desarrollo rápido de los productos.

El invernadero debe asegurar unas condiciones óptimas para el desarrollo de cada planta basados en la intensidad y cantidad de luz, temperatura diurna y nocturna, la concentración de CO<sub>2</sub> en el invernadero, humedad del terreno y del aire, y el movimiento del aire dentro del invernadero.

La calefacción del invernadero puede realizarse conjuntamente con circulación forzada de aire mediante intercambiadores de calor, tuberías de circulación de agua caliente (bien dentro o sobre el suelo), radiadores o una combinación de todos estos métodos, según se observa en el gráfico adjunto.



Fuente: IDAE. Manual de Geotermia

### **2.2.7 Acuicultura**

La acuicultura es la técnica controlada de especies acuáticas vegetales y animales que, actualmente, está adquiriendo gran importancia a nivel mundial. El nivel térmico exigido por las piscifactorías permite el aprovechamiento de los yacimientos de baja entalpía y constituye un campo de aplicación muy interesante para el aprovechamiento de aguas geotermales, principalmente en países fríos.

El sistema de piscifactorías consiste en la crianza de peces, crustáceos o mariscos en varias piscinas artificiales escalonadas, controlando así el crecimiento de cada especie, manteniendo artificialmente una temperatura óptima, la alimentación y la calidad del agua. De esta forma, se consigue cultivar especies exóticas, mejorar la producción e incluso duplicar el ciclo reproductivo. Las especies que habitualmente se cultivan son: angulas, almejas, cangrejos, carpas, mejillones, langostas, salmonetes, salmones, camarones, etc. También se puede incluir la crianza de caimanes y cocodrilos.



*Fuente: IDAE. Manual de Geotermia*

Las temperaturas que se requieren para las especies acuáticas son del orden de 20-30°C. Las piscinas de cría y engorde pueden ser a cielo abierto o instalarse bajo cubierta, con el fin de reducir las pérdidas de calor hacia el exterior. El tamaño de la instalación dependerá de la temperatura del recurso geotermal y de la requerida por la especie.

En muchos casos se aprovecha el aporte energético de las aguas termales para combinar la crianza de animales con invernaderos, ya que la energía requerida para climatizar las instalaciones de cría de animales es aproximadamente la mitad de la requerida para un invernadero de la misma superficie.

### **2.2.8 Piscinas, balnearios, SPAs, áreas de ocio y deportivas**

La energía geotérmica utilizada en forma de calor, a nivel mundial, para este tipo de aplicaciones ha alcanzado en los últimos años valores por encima de los 2.300 GWh/año, lo cual representa en torno al 20 % de los usos directos del calor geotérmico.

En su mayor parte la utilización del recurso para estas aplicaciones se centra en lo que se conoce como centros 'spa' o 'resorts'. En general, estos emplean agua geotérmica

captada en el subsuelo que intercambia calor con el agua del circuito secundario, que, a su vez, se emplea para llenar piscinas y proporcionar calefacción y ACS a los recintos de baños. Además existen aplicaciones quizás más complejas de registrar en las estadísticas, que incluyen las aguas termales y medicinales de los balnearios tradicionales.



*SPA de origen geotérmico de Blue Lagoon en Islandia*

En la actualidad, sólo en Japón hay más de 2.200 ‘resorts’ de aguas termales que atraen a 100 millones de visitantes al año. En algunos de ellos, el agua caliente y el vapor cubren muchas necesidades: salud (las aguas se promocionan para tratamiento de trastornos del aparato digestivo, nerviosos y de la piel), baño, cocina, explotaciones industriales, investigaciones agrícolas, terapia física, baños de recreo, etc.

### **2.2.9 Obtención de frío a partir de calor**

Para la obtención del frío a partir de calor es necesaria la existencia de un foco absorbedor de calor. En ocasiones se suele utilizar un campo de captación geotérmico para realizar esa función. No obstante su aplicación no es muy extendida puesto que suma coste a un proceso de por sí ya muy caro.

### **2.2.10 Sistemas de calefacción y refrigeración de distrito (District Heating)**

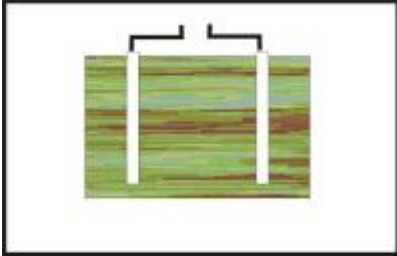
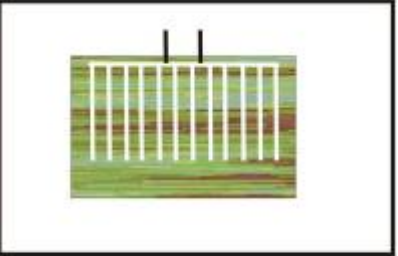
El aprovechamiento directo de los recursos geotermales permite diseñar un sistema de calefacción centralizado, más comúnmente conocido como “district heating”. El sistema satisface la demanda de calor de un conjunto de usuarios, distribuidos dentro de una zona extensa, del tamaño de un barrio, distrito o incluso una ciudad entera. Inicialmente solo se satisfacía la demanda de calefacción pero posteriormente se amplió al suministro de refrigeración. A finales del siglo XIX, comenzaron a funcionar pequeñas instalaciones que atendían las necesidades de áreas muy limitadas, como zonas industriales o comerciales. Su aplicación comienza a aumentar a partir de los años 30 en Estados Unidos y en Europa, aunque su gran expansión se produce en los años sesenta.

En general, los sistemas de calefacción por distrito pueden ser abiertos o cerrados. El sistema cerrado constará de un circuito de calefacción con tubería de impulsión y una tubería de retorno, mientras que el circuito que distribuye ACS es un sistema abierto, porque una vez utilizado el fluido calorportante lo vierte al sumidero. La mayoría de este tipo de instalaciones son sistemas cerrados.

Existen proyectos en los que el agua geotérmica es conducida bajo las carreteras y caminos vecinales, para mantenerlos libres de agua helada o incluso para dispersar la neblina de los aeropuertos, como ya se mencionó en el apartado dedicado a las aplicaciones en obra pública.

### 2.2.11 Almacenamiento energético

Por último, se considera dentro de este grupo de aplicaciones, la capacidad del terreno como almacén de energía. En los almacenamientos subterráneos de energía térmica (*Underground Thermal Energy Storage, UTES*) se almacena frío, calor o ambos bajo tierra. Durante el invierno se extrae calor del terreno inyectando agua fría que servirá durante el verano para refrigerar. Durante el verano, se inyecta agua caliente que queda almacenada para ser utilizada en invierno con fines de calefacción. El funcionamiento es fundamentalmente el mismo que el de las bombas de calor, pudiendo ser sistemas abiertos (*Aquifer Thermal Energy Storage, ATES*) o cerrados (*Borehole Thermal Energy Storage, BTES*). Esta tecnología sólo funciona en grandes instalaciones, donde el volumen de suelo que es calentado o enfriado mediante este sistema es grande comparado con su superficie.

	
<b>ATES: Aquifer Storage</b> Almacenamiento en acuífero	<b>BTES: Borehole Storage</b> Almacenamiento en sondeos
Agua subterránea como medio de almacenamiento y transporte de calor	Sistema de sondeos y tuberías
Terrenos de media a alta conductividad hidráulica y transmisividad	Elevado calor específico
Elevada porosidad	Conductividad térmica media
Flujo de agua bajo o nulo	Flujo de agua subterránea nulo
<b>Ejemplos</b>	
Acuíferos en arenas o gravas porosas	Depósitos sedimentarios como margas, arcillas, etc
Acuíferos en rocas fracturadas: carbonatos, areniscas o rocas metamórficas o ígneas	Rocas ígneas como granito, gabbro, etc. Rocas metamórficas (gneiss...)

### 2.2.12 Utilización de minas abandonadas

Las explotaciones mineras subterráneas, que normalmente alcanzan varios centenares de metros de profundidad, y se pueden extender por kilómetros de

galerías, son sin lugar a dudas emplazamientos muy apropiados para aprovechamiento de la energía geotérmica.

Estos aprovechamientos se pueden realizar durante el periodo activo de la mina (aquí cabe también el aprovechamiento térmico del aire de ventilación), o tras la etapa de clausura. En este último caso, su aplicación puede atender demandas de muy diverso tipo, derivadas de la rehabilitación del entorno minero: museístico, lúdico, industrial...etc.,

### **III.3 Optimización de la eficiencia. Hibridación**

Los avances de las diversas tecnologías, el mejor conocimiento de los sistemas, la necesidad de encontrar mejores rentabilidades y la búsqueda de mejores rendimientos de las instalaciones, hacen que la utilización de estos sistemas esté en continua evolución.

Por un lado el empleo más común es el aporte de calor. Solución utilizada sobre todo en el norte de Europa desde hace tiempo. El acompañamiento con frío, aunque menos utilizado, es el más buscado en países del sur de Europa.

La optimización de los emisores –baja temperatura- hace que se consigan unas eficiencias estacionales mayores con un confort superior para los usuarios y por ende unas instalaciones más eficientes.

Sin embargo, la combinación –hibridación- del recurso geotérmico con otras fuentes de energías renovables como la solar puede permitir rendimientos espectacularmente altos al poder regenerar la temperatura del terreno durante la época estival. En este apartado también merece mencionarse la búsqueda de sistemas mixtos de climatización con objeto de optimizar las elevadas inversiones iniciales que puede tener el campo de captación geotérmico.

### **III.4 Legislación, subvenciones y otros modelos de negocio**

La energía geotérmica involucra a varios actores con intereses diversos. Son todos ellos necesarios para el buen hacer de la tecnología. Es difícil aunar voluntades e intereses toda vez que cada uno tiende a defender su parcela de interés. En el siguiente cuadro se puede constatar la diversidad de normativa aplicable. Se puede constatar que existen diversas normativas aplicables: normativa minera, de aguas, ambiental, energética y de edificación. Por ello y porque todavía no existen criterios y experiencias suficientes como para poder determinar un reglamentación común, se están utilizando diferentes referentes provenientes sobre todo de los países del norte de Europa.



Fecha	Normativa		Aspectos señalados
Julio 1973 - Nov. 1980	Normativa Minera	Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas (modificada por la Ley 54/1980, de 5 de noviembre)	Aparecen los recursos geotérmicos encuadrados en la Sección D, junto a los recursos de interés energético. Se aplica una tramitación basada en permisos y concesiones.  La Ley no tiene un texto adaptado a las normas constitucionales de transferencias a las CCAA
Dcbre. 1978	Normativa Minera	Reglamento General para el Régimen de la Minería (Decreto 2857/1978, de 25 de abril)	En su artículo 5.1 define los recursos geotérmicos y, trata de diferenciarlos de las aguas termales. "Son recursos geotérmicos, incluidos en esta Sección, aquellos entre los geológicos que por su temperatura puedan permitir, entre otras aplicaciones, la obtención de energía, en especial térmica, por intermedio de fluidos. Las aguas termales, tal como se definen en este mismo artículo, quedan fuera de la Sección C."
Junio 1985 - Feb. 1996	Normativa Minera	Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (R.D.863/1985, de 2 de abril)	El capítulo VI se refiere a trabajos especiales, prospecciones y sondeos.  Desarrollado a través de Instrucciones Técnicas Complementarias. La ITC: 06.0.06 se refiere al Aprovechamiento de recursos geotérmicos.  En particular, las actividades de perforación están sometidas a esta normativa.
Dcbre. 1999	Normativa Energética	Plan de Fomento de las Energías Renovables (Período 2000-2010)	No menciona la geotermia en su texto (sólo en dos gráficas, considerándola totalmente insignificante)
Agosto 2005	Normativa Energética	Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010, vigente	Menciona la geotermia en un par de ocasiones, estableciendo un objetivo igual a cero en la tabla de objetivos de incremento en 2005-2010
Mayo 2007	Normativa Energética	Producción de energía eléctrica en régimen especial (R.D. 661/2007, de 25 de mayo)	Establece el régimen económico y jurídico de las instalaciones que pueden acogerse al Régimen Especial.  Dentro de su ámbito de aplicación sí se considera dentro del grupo b.3. las instalaciones que únicamente utilicen como energía primaria la geotérmica y la de las rocas calientes y

Fecha	Normativa		Aspectos señalados
			secas. Al igual que para las demás energías renovables reguladas en este Real Decreto, para este grupo se establece un régimen económico y se describen unos mecanismos de retribución de la energía eléctrica producida por las instalaciones descritas en el grupo b.3. En los anexos del Real Decreto se clasifican las fuentes de energía renovable gestionables y el grupo b.3 lo considera no gestionable, lo cual es un error dado que la energía geotérmica de alta entalpía es una energía termoeléctrica y por lo tanto absolutamente gestionable.
Julio 2007	Normativa Energética	Plan de Acción 2008-2012 de Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética	No menciona la geotermia; (tampoco por ejemplo, el Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004–2012)
Enero 2008	Normativa Ambiental	Texto refundido de la ley de Evaluación de impacto Ambiental (R.D. Legislativo 1/2008, de 11 de enero)	Expresamente considera las perforaciones geotérmicas a analizar caso por caso por el órgano ambiental considerando a toda perforación geotérmica como profunda (ignora la geotermia somera), equiparándolas a las petrolíferas.  La normativa de las comunidades autónomas puede establecer que los proyectos se sometan a evaluación de impacto ambiental. Existe normativa propia en la casi totalidad de las CCAA con criterios no homogéneos a este respecto.
Julio 2001 - Dcbre. 2003	Normativa de Aguas	Texto Refundido de la Ley de Aguas (R.D. Legislativo 1/2001, de 20 julio 2001) modif. por Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social	Las perforaciones deben evitar la afección a acuíferos que sean atravesados.  Los sistemas geotérmicos abiertos que utilizan aguas subterráneas como fluido para calefacción/climatización están sometidos también a esta normativa.

Fecha	Normativa		Aspectos señalados
Marzo 2006	Normativa Vivienda (aspectos energéticos)	Código Técnico de la Edificación (R.D. 314/2006, de 17 de marzo)	Aunque la geotermia no está incluida explícitamente sí está implícitamente en la consideración de "otras energías renovables".
Agosto 2007	Normativa Energética	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.D. 1027/2007, de 20 de julio)	Entre las alternativas de energías renovables térmicas no considera la geotermia pero sí la bomba de calor.  En todo caso, toda instalación térmica o de ACS deberá ser registrada
Abril 1986	Normativa de Aguas	Reglamento del Dominio Público Hidráulico (R.D. 849/1986, de 11 de abril)	Regula la investigación, aprovechamiento y afecciones a las aguas subterráneas así como las autorizaciones de vertidos.
Dic. 2000	Normativa Energética	Actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (R.D. 1955/2000, de 1 de diciembre)	Estipula las resoluciones administrativas requeridas para la construcción de una instalación eléctrica

Es absolutamente necesario legislar, pero también es absolutamente necesario hacerlo con sentido común y adaptándose a la realidad de nuestras necesidades. Debemos utilizar los referenciales europeos, pero adaptándolos a nuestra realidad.

En la actualidad se está empezando a tener presente la importancia en cuanto a ahorro energético y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que esta tecnología puede representar y ya se ha incluido por ejemplo en el PANER (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables) 2011-2020 con lo que será tenida en cuenta a la hora de promover su instalación. Acciones referentes a la reglamentación y legislación

aparecen en todos los planes de acción. El temor a la extensión de instalaciones no bien diseñadas o ejecutadas es latente en cualquier foro de geotermia

Será necesario asimismo la simplificación y normalización de las labores administrativas necesarias para legalizar este tipo de instalaciones estableciendo unas exigencias equivalentes a la aplicación de otras tecnologías, ya que el aumentarlas implicaría una barrera más a su aplicación.

Otro apartado que merece la pena mencionar es el relativo al apoyo que debe de recibir a l menos hasta que se encuentre madura. Este tipo de tecnologías más caras en su aplicación aunque con comprobadas ventajas en su utilización, necesitan ser apoyadas para reducir los actuales periodos de amortización que pueden resultar demasiado grandes para el usuario.

La implantación de empresas de Servicios energéticos (ESCO's) en las que primará la reducción del coste de generación de su energía respecto a la inversión de las instalaciones propiamente dichas, sabiendo que al final habrá un interesante retorno de la inversión generará una oportunidad para este tipo de tecnologías si además la administración como por ejemplo con el programa GEOCASA promueve y facilita su instalación.

Será necesario además, una adaptación de las Normativas donde estas tecnologías son aplicables, como por ejemplo el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios) y el CTE (Código Técnico de la Edificación) para dar cabida de una forma preferente a estas implantaciones.

### **III.5 Conclusiones**

La utilización de los recursos geotérmicos como fuente energética se viene utilizando por el hombre desde la antigüedad. Las cuevas han servido de cobijo y protección y los yacimientos termales como fuente de calor.

La evolución de la tecnología ha hecho extensible otras formas de aprovechamiento energético para diversos sectores, la mayor parte de ellos ligados con la utilización del recurso geotérmico como fuente energético en forma de calor

La necesidad creciente de la utilización de recursos energéticos alternativos a los tradicionales con origen fósil, hacen de la energía geotérmica una alternativa válida para la utilización dentro de nuestro entorno

Aunque la utilización en España como calefacción sería de una explotación sensiblemente inferior a Centro Europa debido a las menores necesidades de calor por cuestiones climáticas, la posibilidad que tenemos de utilizar en ciclo reversible como generador de frío hace que la explotación sea realmente interesante y amortizable teniendo además en cuenta que de esta forma logramos regenerar el terreno sin ninguna inversión adicional.

La implantación de este tipo de tecnología está íntimamente ligada con su rentabilidad económica. La evolución al alza de los precios energéticos y el abaratamiento de la tecnología ha hecho que hoy por hoy este tipo de tecnología sea ya una realidad.

Es difícil pensar que alguien que construya una casa, edificio o un negocio no se plantee ya la fuente energética a utilizar. La energía geotérmica es programada como una alternativa seria en procesos de climatización y generación de calor.

### **III.6 Bibliografía**

- Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT). (2010) “Documento de Visión a 2030”
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (junio de 2008) “Manual de geotermia”
- European Geothermal Energy Council (EGEC) “Geothermal Heat Pumps – Ground source Heat Pumps”
- Cristina de Santiago Buey y Fernando Pardo de Santayana Carrillo. Laboratorio de Geotecnia (CEDEX). “Aprovechamiento de la energía geotérmica superficial en la obra pública”.
- Llopis Trillo, G. y Rodrigo Angulo, V. “Guía de la Energía Geotérmica”. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.