

# Recursos geotérmicos en España

CELESTINO GARCÍA DE LA NOCEDA MÁRQUEZ (\*)

**RESUMEN** Se presenta una visión general sobre los recursos geotérmicos y los conceptos básicos de yacimientos geotérmicos, así como las diferentes posibilidades de su aprovechamiento y del panorama general de la geotermia en España.

## GEOHERMAL RESOURCES IN SPAIN

**ABSTRACT** A general view on the geothermal resources is presented and the basic concepts of geothermal fields and their classification, the different possibilities of geothermal energy utilization as well as a general panoramic of geothermal energy in Spain.

**Palabras clave:** Geotermia, Energía Geotérmica, España.

**Keywords:** Geothermics, Geothermal Energy, Spain.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla sobre geotermia, surge como un símbolo la idea del géiser que, de forma espectacular, ofrece la imagen de cómo desde el interior de la Tierra brota el agua hirviendo liberando energía interna a través del agua. La imagen es absolutamente sugerente, pero un géiser no deja de ser una singularidad poco frecuente en el contexto del globo.

Más cercanas, y más abundantes, son otro tipo de manifestaciones de esta energía del interior de la Tierra que se presen-

tan en zonas volcánicas, asociando ya este tipo de áreas geológicas a la presencia de la geotermia. Se trata de las fumarolas, escapes de fluidos termales que surgen en la superficie en terrenos volcánicos, creando zonas en las que es fácil imaginar cómo en la antigüedad se asociaban a “las calderas de Pedro Botero” y al “averno”, a través de un ambiente en el que vapores, gases (y olores) y ruidos crean un escenario mágico.

En general, son las fuentes termales las que, ampliamente distribuidas a través del territorio, han ofrecido esta imagen del calor que se desprende desde el subsuelo en zonas localiza-



**FIGURA 1.** Fumarolas y fuentes termales.

(\*) Ingeniero de Minas. Responsable de Proyectos de Investigación Geotérmica. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Ríos Rosas 23, 28003, Madrid.

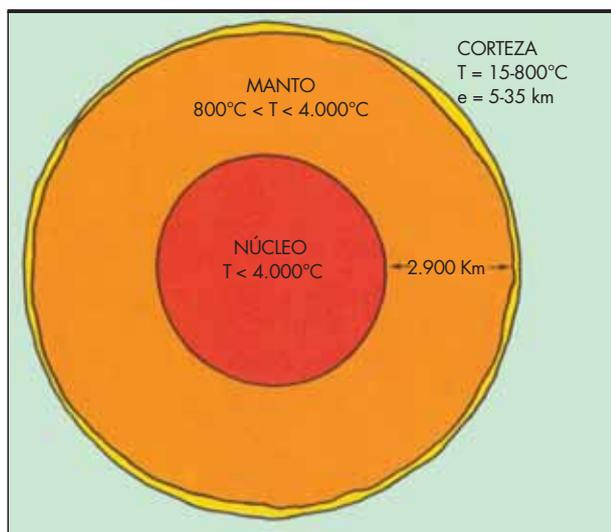


FIGURA 2. Estructura interna de la Tierra.

das del globo, aunque mucho más ampliamente distribuidas que las anteriores.

Sin mostrar una espectacularidad como ninguna de las anteriores manifestaciones, la estabilidad térmica del subsuelo y de las cavidades naturales, fue aprovechada desde tiempos inmemoriales por el hombre para procesos que requerían tales condiciones: lugar para vivir, bodegas...

Es por tanto bien cierto que el hombre ha podido constatar la existencia de un calor que proviene del interior del globo y que aporta la energía suficiente para mantener estable la temperatura del subsuelo en grandes espacios, así como es capaz de suministrar niveles energéticos de alto valor en áreas más o menos localizadas del globo.

## 2. LA ENERGÍA DE LA TIERRA

Que la Tierra es un planeta caliente es un hecho bien conocido por todos. Que una parte del calor de la Tierra es el que recibe del Sol y que otra parte proviene del calor interno del planeta, también están suficientemente asumidos.

De dónde viene el calor interno de la Tierra puede ser un aspecto menos conocido. Hay una parte del calor que se disipa

permanentemente por la superficie del planeta que proviene de su propio calor de formación: aquel que la Tierra poseía cuando se formó y que ha ido perdiendo para convertirse en un planeta habitable.

Otra parte del calor interno lo genera la desintegración de materiales radiactivos muy presentes en las capas más externas del globo que conforman la corteza terrestre.

Finalmente, buena parte de la manifestación “caprichosa” del calor de la Tierra en forma de volcanes, géiseres y fumarolas se sitúa en zonas tectónicamente activas de la corteza donde se producen movimientos de ésta. Tanto las zonas de creación de nueva corteza en las dorsales oceánicas como las zonas donde se produce la disminución de corteza al chocar las denominadas “placas corticales” así como otras zonas activas son áreas donde se disipan grandes cantidades de energía que se desprenden hacia la parte exterior del globo.

Se sabe desde antiguo que la Tierra está constituida por capas concéntricas. Desde la zona más interna denominada *núcleo* cuyas temperaturas se estiman del orden de los 5.000°C se transmite por convección el calor a través del denominado *manto* interno y del manto externo, más fluido que el anterior. La *corteza* constituye la capa más externa del globo; tiene espesor variable entre 4 y 40 kilómetros; la temperatura va desde los 800°C en su contacto con el manto externo hasta los 15-20°C en la superficie; en esta capa se produce la desintegración radiactiva de los materiales que tienen esta propiedad, aportando energía calorífica que se disipa igualmente por la superficie terrestre, lo que ha evitado el enfriamiento total del planeta desde su origen.

Desde un punto de vista más mecánico, la litosfera que está constituida por la corteza y la porción más exterior del manto y que tiene un espesor medio de unos 250 kilómetros, está formada por *placas* que se desplazan separándose entre sí y como flotando sobre el resto del manto; ello provoca la existencia de zonas donde las placas se separan, con creación de nueva corteza y zonas donde las placas convergen, produciéndose la subducción de una sobre la otra y la consiguiente fusión de corteza; además existen zonas de actividad distensiva con disminución de espesor cortical y zonas de fracturación profunda que alcanzan niveles profundos más fluidos. En estas situaciones se produce acercamiento a la superficie de magmas a elevada temperatura o generación de calor por rozamientos y por todo ello gran aporte de energía.

Se puede deducir por tanto que en la mayor parte de la superficie del globo (más del 90% del territorio) se produce una disipación de energía calorífica que viene desde el interior (de

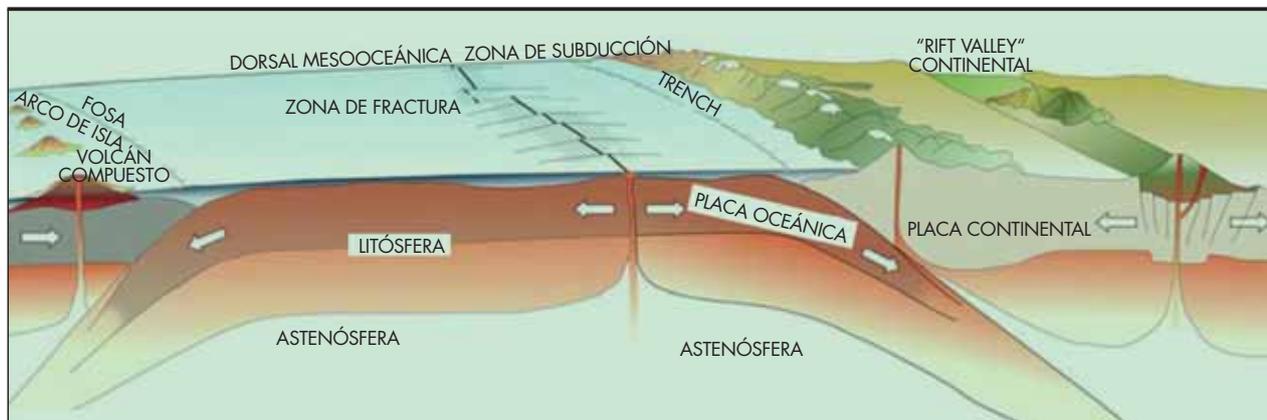


FIGURA 3. Litosfera y placas tectónicas.

zonas profundas o de la propia corteza) con una importante constancia en el tiempo y en intensidad (el flujo calorífico medio es de 1-1,5  $\mu\text{cal}/\text{cm}^2 \text{seg}$ ).

En las zonas geológicamente activas de la corteza el valor del flujo de calor puede alcanzar valores que multiplican por diez este valor medio.

Este flujo de calor trae como consecuencia un incremento de la temperatura con la profundidad a medida que se penetra en la corteza terrestre. En las zonas estables, esto implica un aumento de unos 2-4°C cada cien metros. En zonas anómalas se pueden superar los 20-30°C cada cien metros.

### 3. RECURSOS GEOTÉRMICOS

La Directiva Europea de Energías Renovables<sup>(\*)</sup> define la *energía geotérmica* como la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida.

A partir de esta definición se puede a su vez establecer que el *recurso geotérmico* es la parte de la energía geotérmica que se encuentra en una forma concentrada, de tal manera que puede ser extraída y aprovechada por el hombre.

Lógicamente, la tecnología disponible en cada momento tanto para la localización, extracción y aprovechamiento del recurso es un factor fundamental para la existencia del recurso y ésta viene condicionada por el valor económico del recurso.

Así el *yacimiento geotérmico* es el lugar geológico en la corteza terrestre en el que se localiza el recurso geotérmico de forma que su aprovechamiento (para su aplicación directa en usos de calefacción, industria, agricultura, refrigeración... o bien para su conversión en energía eléctrica) pueda ser llevado a cabo de forma técnicamente viable (con las tecnologías existentes y aquellas que pudiesen ser desarrolladas en tiempos próximos), económicamente competitiva y sostenible en el tiempo.

Los recursos geotérmicos se clasifican en función de su nivel energético de acuerdo con el valor de la entalpía. Con objeto de hacer más comprensible esta clasificación se sustituye esta magnitud termodinámica por la temperatura, que es una magnitud más cercana y que permite dar una idea aproximada del potencial energético.

La clasificación más sencilla de los distintos tipos de recursos geotérmicos es:

- Recursos geotérmicos de baja temperatura: aquellos en que el gradiente geotérmico normal mantiene la temperatura del fluido geotérmico en el orden de los 45-100°C albergado en un rocas permeables situadas a profundidades entre los 1.000 y 2.500 metros (o a profundidades inferiores a los 1.000 metros en caso de mayores gradientes). Son adecuados para el aprovechamiento directo del calor (calefacción, aplicaciones industriales...) en sistemas situados próximos al punto de captación. El fluido geotérmico contiene generalmente un elevado contenido en sales disueltas por lo que su aprovechamiento requiere, en general, el empleo de intercambiadores especiales y la inyección del fluido, una vez extraído el calor, en el propio yacimiento.
- Recursos geotérmicos de alta temperatura: aquellos en que la temperatura del fluido geotérmico supera los 150°C y éste se encuentra sometido a altas presiones. Se localizan en zonas de gradiente geotérmico elevado, requieren la existencia de una cobertera que actúe como sello del yacimiento y la profundidad a la que se localizan es muy variable, situándose generalmente entre los 1.000 y los 2.500 metros. Se aprovechan fundamentalmente para la producción de electricidad.

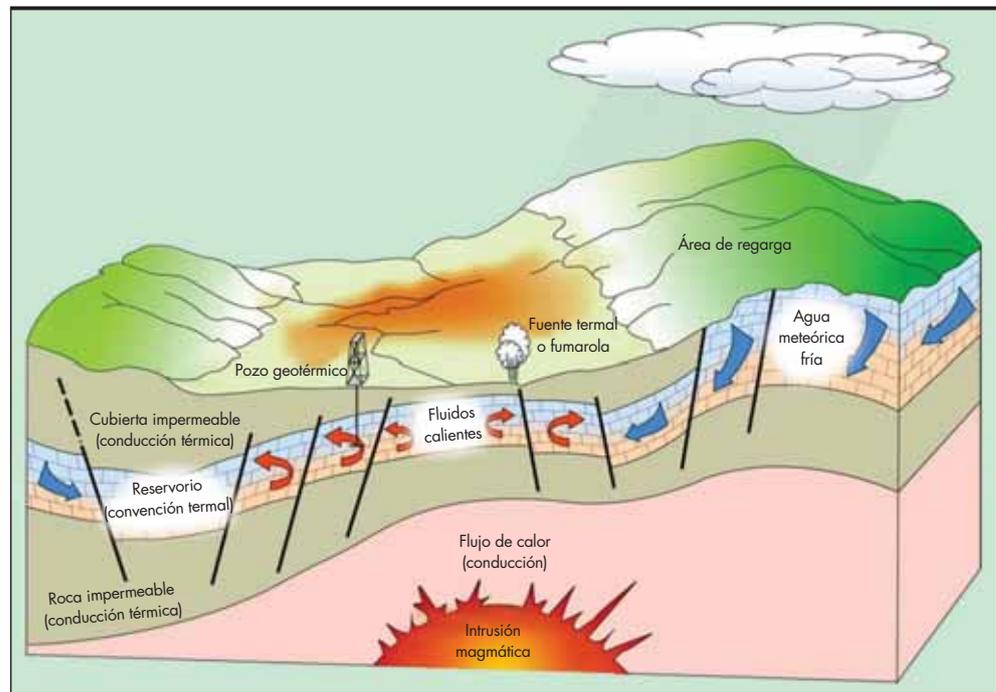


FIGURA 4. Yacimiento geotérmico.

(\*) 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.

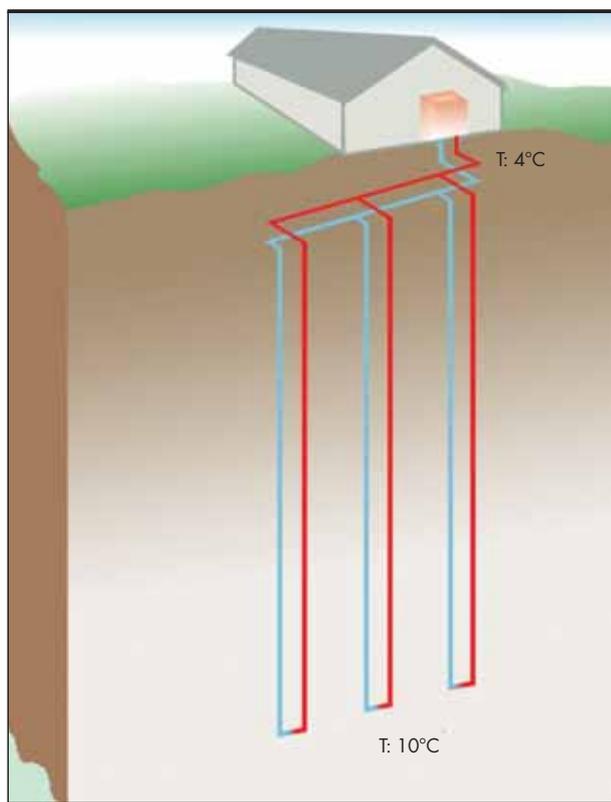


FIGURA 5. Recursos geotérmicos someros de muy baja temperatura.

Resulta evidente que esta clasificación tan simple deja importantes huecos e imprecisiones. Sin embargo, es a medida que van surgiendo diferentes necesidades y aplicaciones que pueden ser cubiertas mediante la aplicación de nuevas tecnologías, cuando se van diferenciando y definiendo otros tipos de recursos:

- Recursos geotérmicos de muy baja temperatura: son aquellos en los que se aprovechan los niveles estables de temperatura del subsuelo poco profundo (hasta profundidades que generalmente no alcanzan los 250 metros, incluyendo aquellas que van asociadas a elementos constructivos de la edificación) o de aguas subterráneas incluidas las provenientes de labores mineras y drenajes de obras civiles siempre para su uso exclusivamente energético y no consuntivo del agua. Este tipo de recursos se puede localizar prácticamente en cualquier punto del territorio ya que no se requiere estar situados sobre ningún tipo de anomalía geotérmica y son aprovechados para usos térmicos en sistemas de aireación, calefacción y climatización de locales y/o procesos, generalmente mediante el uso de la bomba de calor.
- Recursos geotérmicos de media temperatura: son aquellos en los que el fluido se encuentra a temperaturas entre 100°C y 150°C. Pueden ser localizados en zonas con gradiente geotérmico normal a profundidades entre 2.000 y 4.000 metros, aunque las profundidades pueden disminuir de forma importante en zonas de gradiente más elevado. Pueden, 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

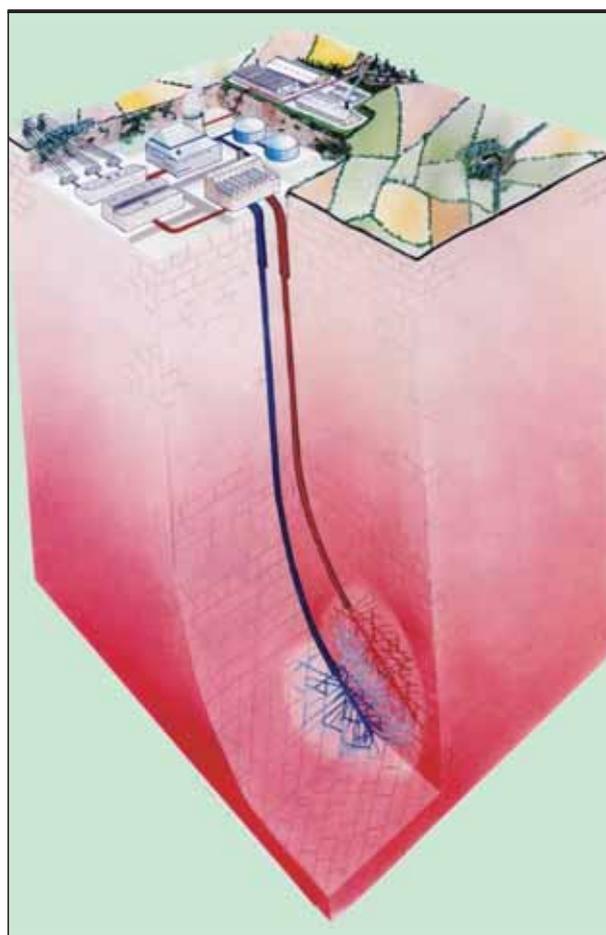


FIGURA 6. Yacimiento de roca caliente seca a gran profundidad.

utilizado para uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos y en procesos industriales.

- Recursos geotérmicos de roca caliente seca (actualmente incluidos en los denominados sistemas geotérmicos estimulados): son aquellos en los que sin previa existencia de fluido (tan sólo una masa de roca a elevada temperatura), mediante técnicas de fracturación artificial e inyección de fluido se consigue establecer un circuito geotérmico con introducción de agua fría y extracción de vapor que es utilizado para la generación de electricidad, en centrales binarias como los recursos de media temperatura.

Finalmente cabe reseñar otros tipos de recursos cuya tecnología aún está en fase incipiente, entre los que cabe señalar:

- Recursos geotérmicos en rocas incompletamente solidificadas: en áreas de volcanismo reciente, se encuentran rocas en estado de fusión o parcialmente solidificadas, a las que se les puede extraer su energía.
- Recursos geotérmicos en condiciones hipercríticas: las condiciones termodinámicas del fluido geotérmico se sitúan por encima del punto crítico. Se trata de futuros desarrollos en zonas muy privilegiadas del globo.

Todo este panorama de distintos recursos permite ampliar de forma muy notable el estrecho abanico que se podía plantear cuando se llevaron a cabo los primeros trabajos de investigación geotérmica en España en la década de los 70 del pasado siglo XX.



**FIGURA 7.** Sondeo geotérmico (alta temperatura) y separador de fluido.

#### 4. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Los recursos geotérmicos constituyen un recurso geológico-minero de tipo energético y en gran parte renovable cuyas especificidades conllevan el desarrollo de diferentes tecnologías que posibilitan su aprovechamiento. No hay que olvidar que la energía térmica que se explota está contenida tanto en el fluido geotérmico como en la roca que lo contiene y que sólo una parte de esta energía es recuperable como consecuencia del comportamiento termodinámico del sistema fluido-roca; también es importante conocer que se trata de un recurso que se aprovecha generalmente mediante perforaciones a través de las cuales se eleva hasta la superficie el fluido geotérmico que actúa como elemento de transporte de la energía; finalmente, que los elementos tecnológicos que en la superficie aprovechan la energía contenida en el fluido geotérmico han de estar adaptados a las características del fluido.

Por todo ello, las tecnologías de aprovechamiento geotérmico dependen básicamente del nivel energético del fluido.

Los recursos geotérmicos de alta temperatura se aprovechan fundamentalmente para la producción de electricidad. El tipo de planta necesaria para la generación eléctrica depende de las características del fluido geotérmico. En los yacimientos de vapor seco, éste se turbiniza directamente. Este tipo de yacimientos es muy escaso ya que lo más frecuente es la mezcla de vapor y agua sobrecalentada. Las plantas requieren la instalación de un separador de fases (vapor-líquido) que podrán ser en una o varias etapas, lo que da origen a las plantas “flash”.

Cuando las temperaturas no son suficientes para que el fluido geotérmico se lleve directamente a turbinas (o cuando el contenido salino pueda ser dañino para los elementos de la turbina), se utilizan ciclos binarios. En este tipo de plantas, el fluido geotérmico intercambia su energía con un fluido de bajo punto de vaporización que es el que se lleva a la turbina. La mejora en este tipo de ciclos en las últimas décadas, ha permitido incrementar el rendimiento de este tipo de plantas, cada vez más numerosas en el mundo.



**FIGURA 8.** Planta geotérmica (ciclo binario).

Dado que los recursos de alta temperatura se localizan únicamente en zonas muy contadas y privilegiadas del globo, se intentaba incrementar las zonas donde fuese posible aprovechar la energía geotérmica para la producción de electricidad. Por ello, ya desde el comienzo de los años 70 se estudió la posibilidad de aprovechar el calor existente en masas de roca calientes a ciertas profundidades, aún sin existencia de fluido geotérmico. Comenzó así la investigación de los denominados los yacimientos de Roca Caliente Seca (HDR), en los que se trataba de crear artificialmente una zona fisurada en el macizo rocoso en la que posteriormente se inyectase agua y se extrajese vapor para producir electricidad. Aunque se desarrollaron nuevas técnicas para la investigación y monitorización de estos yacimientos, el mayor esfuerzo innovador en este campo fue, sin lugar a duda, la forma de crear una zona permeable en el interior de la masa rocosa. La adaptación de técnicas utilizadas en los yacimientos de hidrocarburos fue la clave para lograr el éxito en este tipo de yacimientos creados artificialmente. La inyección de agua a presión a través de una primera perforación que alcance la zona objetivo, permite abrir las fisuras preexistentes en la roca objetivo y que éstas se mantengan abiertas de forma permanente, por lo que se crea en el macizo rocoso una zona permeable limitada localmente. Tras alcanzar esta zona alterada mediante una segunda perforación, se establece un circuito geotérmico en el que uno de los sondeos se utiliza para la inyección de agua y por el segundo sondeo se obtiene esta agua a la temperatura suficiente para poder llevarla a una planta geotérmica en la que se turбина para producir electricidad.

Estas técnicas desarrolladas para los yacimientos de roca caliente seca, pueden ser usadas para aquellos en los que pueda existir fluido aunque la permeabilidad sea muy baja; por ello se ha extendido su campo de aplicación a los yacimientos que puedan ser objeto de mejora en su productividad, incluyendo aquellos que fueron descartados en épocas anteriores debido a su baja permeabilidad; se denominan por tanto a todos ellos como Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) que engloba a los anteriores yacimientos HDR. La demostración de la viabilidad técnica y económica de este tipo de yacimientos permite albergar grandes expectativas para estos nuevos recursos. De hecho, el Instituto Tecnológico de Massachusetts elaboró un informe en 2006 titulado *El Futuro de la Energía Geotérmica. Impacto de los Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) en los Estados Unidos en el siglo XXI*. En él se señala que, con la inversión adecuada, esta tecnología podría suministrar en 2050 hasta el 10% de la energía eléctrica que actualmente está instalada en USA.

Los recursos geotérmicos de baja temperatura pueden ser utilizados para el aprovechamiento directo del calor. Dado que el transporte del calor requiere infraestructuras de elevado coste y con pérdidas energéticas importantes, se requiere en estos casos que la demanda se sitúe próxima al centro geotérmico, donde se ubican las cabezas de los sondeos y se localiza el intercambiador. De esta forma, el circuito geotérmico que actúa como la caldera del sistema de calefacción que se va a utilizar, está compuesto únicamente por los dos sondeos que conforma el doblete geotérmico (el sondeo de extracción y el de inyección) y el intercambiador; estos elementos que conforman el circuito geotérmico deben estar protegidos contra los procesos de corrosión producidos por los fluidos con altos niveles en sales disueltas así como los problemas de precipitación de sales y encostramientos. El resto es el sistema de superficie que prácticamente es un sistema convencional de distribución de calefacción. La geotermia se adapta con mayor facilidad cuando se utilizan elementos de calefacción de baja temperatura como son los suelos radiantes. Normalmente la cobertura energética total de la demanda de calefacción



FIGURA 9. Sondeo geotérmico profundo de baja temperatura suministrando calefacción de distrito.

ción mediante la geotermia dificulta la rentabilidad del sistema al desaprovechar gran parte de la potencia térmica disponible; por esta razón se suele usar un sistema de apoyo que cubra las puntas de demanda, garantizando la geotermia la mayor parte de la demanda de energía.

Además de los usos en calefacción de viviendas y locales, existen multitud de aplicaciones de tipo industrial en las que se necesita aporte de calor. La mayor parte están relacionadas con las industrias del sector agrícola y alimentario si bien cabe destacar los usos en calefacción de invernaderos, piscicultura, etc.

Cuando se trata de recursos geotérmicos someros (geotermia de muy baja temperatura) se requiere habitualmente el empleo de bomba de calor. Estos equipos permiten suministrar calefacción a sistemas convencionales a partir de enfriar fluidos que inicialmente se encuentran a bajas temperaturas (15-20°C); mediante la bomba de calor se enfría el fluido del denominado foco frío y la energía que se le quita a éste es aportada al fluido del foco caliente (el circuito de calefacción) que llega a la bomba de calor a mayor temperatura que la del foco frío.

Existen varios sistemas que permiten el aprovechamiento geotérmico en sistemas someros. Los sistemas cerrados se realizan formando bucles de tubería por los que circula un fluido (agua con anticongelante por lo general) que toma calor del subsuelo y lo cede a la bomba de calor. Estos bucles se realizan en disposiciones horizontales bajo el terreno a poca profundidad, en perforaciones verticales de menos de 250 metros habitualmente o conjuntamente con elementos estructurales de construcción como son los pilares de edificación.

Los denominados circuitos abiertos aprovechan la temperatura estable de las aguas subterráneas (o de otras aguas como las aguas de mina o de drenaje de túneles) para suministrar calor a la bomba de calor; una vez enfriada, el agua subterránea se suele devolver al acuífero.

Las posibilidades de funcionamiento reversible de la bomba de calor permiten que estos sistemas puedan funcionar como elementos de climatización durante la época estival. El subsuelo actúa en ese caso como sumidero o almacén del calor que se aporta desde la edificación.

A diferencia con los recursos geotérmicos convencionales de alta, media y baja temperatura cuya localización y aprovecha-

miento vienen condicionados por la existencia de anomalías geotérmicas o por la presencia de una importante demanda de calor "in-situ", los recursos geotérmicos someros se pueden aprovechar en cualquier lugar del territorio.

**5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA**

La gran diferencia entre la geotermia y gran parte de las restantes energías renovables, es que se trata de una energía que puede garantizar el suministro durante las 24 horas del día y los 365 días del año sin sufrir variaciones de suministro ni limitaciones en ningún momento del año. Se trata, por tanto de una energía gestionable.

La geotermia debe ser aprovechada de forma sostenible dado que se trata de un recurso que recupera lentamente su nivel energético, hecho que caracteriza a esta energía renovable. El fluido geotérmico ha de ser considerado como el elemento transmisor de la energía, por lo que nunca debe ser aprovechado como recurso minero en el sentido de su uso consuntivo, sino que debe ser planteada su reinyección en el yacimiento una vez que se haya hecho uso de su energía.

La energía geotérmica es una energía respetuosa con el medio ambiente y no produce emisiones contaminantes. Existen las adecuadas tecnologías para garantizar que nunca se producirían escapes de gases o elementos químicos disueltos en los fluidos geotérmicos que pudiesen ser perjudiciales.

La geotermia requiere una importante inversión económica previamente a su puesta en funcionamiento. No sólo en los procesos de investigación sino en los propios elementos de la instalación geotérmica como son los sondeos, la inversión es elevada. Sin embargo tiene unos bajísimos costes de mantenimiento y explotación. Ello permite que los tiempos de retorno de la inversión sean moderadamente bajos.

Son los proyectos con menores inversiones los que, por tanto, obtienen mayores rentabilidades. Dado que los sondeos significan un montante importante de la inversión, serán los proyectos en los que, a igualdad de condiciones del fluido, los recursos se encuentren a menor profundidad los que ofrezcan mejores perspectivas económicas.

En relación con la geotermia somera o de muy baja temperatura, ha de tenerse en cuenta que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) valora las bombas de calor geotérmicas (GHP) como la tecnología mas eficiente en calefacción y climatización. No sólo desde el punto de vista de la eficiencia sino del confort y el ahorro en coste, la geotermia somera permite tasas de retorno de inversión muy aceptables, por de-

bajo de los 9 años. Hay que destacar que, en cualquier lugar del territorio, es posible aprovechar los recursos geotérmicos someros. La utilización de este tipo de sistemas en forma reversible (calefacción en invierno y climatización en verano) permite mejorar notablemente la rentabilidad económica de los proyectos.

**6. LA GEOTERMIA EN ESPAÑA**

El potencial de recursos geotérmicos en España fue puesto en evidencia por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) principalmente a lo largo de las décadas de los 70 y 80.

Las investigaciones se extendieron a lo largo de todo el territorio, aunque se concentraron en las áreas consideradas de mayor potencial. Sin duda las Islas Canarias fueron objeto de estudios detallados fundamentalmente en las islas de Lanzarote, La Palma, Gran Canaria y sobre todo Tenerife en donde las posibilidades de existencia de geotermia de alta temperatura se continúan evaluando en la actualidad.

En el territorio peninsular los esfuerzos en investigación se concentraron en las Cordilleras Béticas en las que destaca el potencial existente en las denominadas depresiones internas, fosas tectónicas donde las formaciones sedimentarias del terciario tiene gran permeabilidad y en las que aparecen numerosas manifestaciones termales. Las depresiones catalanas también fueron objeto de los proyectos de investigación; se trata de importantes fosas con saltos de fallas superiores a los 3.000 metros en algunos casos y con algunas de las manifestaciones termales de mayor temperatura en España. Igualmente en Galicia, en materiales graníticos situados próximos a fallas importantes se investigó su potencial con detalle y se alcanzaron temperaturas del orden de los 80°C a tan sólo unos centenas de metros de profundidad.

En otras áreas sedimentarias, la información proveniente de los sondeos de hidrocarburos permitió definir niveles de interres geotérmico sin existencia de surgencias en superficie.

Fruto de estas investigaciones se localizaron áreas de elevado potencial en recursos de baja y media temperatura así como posibles yacimientos de alta temperatura y se realizaron diversos sondeos profundos de reconocimiento y preexplotación con vistas al desarrollo de proyectos de demostración en este campo.

Los problemas surgidos en los proyectos de demostración iniciados en la década de los 80 no fueron debidos a problemas técnicos ni básicamente a problemas de rentabilidad económica sino a montajes empresariales inadecuados para este tipo de proyectos. Estos problemas causaron la práctica paralización de la actividad en geotermia durante casi dos décadas.

Yacimientos geotérmicos	Baja temperatura T < 100°C	Almacenes sedimentarios profundos	Cuenca del Tajo: Madrid. Cuenca del Duero: León, Burgos y Valladolid. Área Prebética e Ibérica: Albacete y Cuenca.
		Zonas intramontañosas y volcánicas	Galicia: zonas de Orense y Pontevedra. Depresiones catalanas: Vallés, Penedés, La Selva y Ampurdán. Depresiones internas de las Cordilleras Béticas: Granada, Guadix, Baza, Cartagena, Mula, Mallorca. Canarias: isla de Gran Canaria.
	Media temperatura 100°C < T < 150°C		Cordilleras Béticas: Murcia, Almería, Granada. Cataluña: Vallés, Penedés, La Selva y Olot. Galicia: áreas de Orense y Pontevedra. Pirineo Oriental: zona de Jaca-Sabiñánigo.
	Alta temperatura T > 150°C		Islas Canarias: Tenerife, Lanzarote y La Palma.

**TABLA 1.** Principales áreas geotérmicas en España.



FIGURA 10. Mapa de síntesis de áreas geotérmicas en España.

La llegada del nuevo siglo ha traído nuevas perspectivas para la geotermia en España; se retoman viejos proyectos abandonados años atrás; se plantea la continuación de las investigaciones que el IGME llevó a cabo dos o tres décadas atrás, con vistas a la utilización de los recursos tanto para usos directos como para producción de electricidad, probablemente mediante ciclos binarios; se estudian las posibilidades de existencia de yacimientos profundos que puedan ser aprovechados para la producción de electricidad mediante las tecnologías de EGS; finalmente, el crecimiento ya detectado del sector de geotermia somera evidencia un fuerte incremento de este tipo de sistemas en los próximos años, tal como ha sucedido en otros países de la Unión Europea, aunque en el caso español con notables ventajas dado las posibilidades de uso no sólo en calefacción y agua caliente sanitaria sino en climatización.

Hay otros factores que pueden influir también de forma importante en el futuro de la geotermia en España:

- El entorno propicio que en estos momentos se vive en el mundo en cuanto se refiere a la lucha contra el cambio climático y la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.
- La necesidad de aprovechar los recursos autóctonos, reduciendo la dependencia energética y garantizando el suministro.
- El favorable marco geológico y climático en relación con la geotermia.
- El desarrollo de un nuevo marco normativo que impulse el sector.

- El reconocimiento de que este tipo de energía renovable puede contribuir junto con otras tecnologías a mejorar la calidad de vida y la eficiencia energética.
- Las características de la geotermia en cuanto a las posibilidades de almacenamiento de calor/frío y su posible uso combinado con otras tecnologías energéticas y otras energías renovables (sistemas híbridos).

En todo caso, la actuación coordinada de los distintos actores que intervienen en el sector, tanto desde las administraciones públicas como del sector empresarial e industrial y de los propios usuarios permitirá lograr el impulso que esta energía renovable necesita para su desarrollo. Se han dado ya los primeros pasos en este sentido y el futuro es prometedor.

## 7. REFERENCIAS

García de la Noceda, C. (2009). Los recursos geotérmicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 15.3.,239-247.

IDAE-IGME (2008) *Manual de geotermia*. Ed. IDAE, Madrid.

IGME. (1985). *La energía geotérmica*. Ed. IGME. Madrid.

IGME. *Los recursos geotérmicos*. URL: <http://www.igme.es/internet/Geotermia/inicio.htm>. Con acceso: setiembre 2009.

Massachusetts Institute of Technology (MIT) (2006). *The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. U.S. Department of Energy's Office of the Geothermal Technology Program. Idaho.