

# Energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos.

## Estado actual y perspectivas a nivel mundial



Geothermal power production.  
Worldwide current status and  
perspectives.

César Chamorro-Camazón  
Dr. Ingeniero Industrial  
Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica.  
Universidad de Valladolid

Recibido:30/09/08 • Aceptado: 31/12/08

### ABSTRACT

- *Geothermal energy is used today in several countries for electrical power production. Although technology used is well established, it represents only a small percentage of world electricity production due to the fact that only some of the scarce high temperature reservoirs existing in the world are used. Nowadays the development of new exploitation techniques will convert in limitless, in a humanity-needs scale, this renewable resource. Some studies foresee that geothermal power production will be a key stone in the supply of electricity worldwide in a few years. Today rapid growing of the number of geothermal installations in Germany is a clear example of what may happen in other countries in a near future.*
- **Key words:** Energy, Renewable energy, Geothermal energy, Power production, Energy perspectives.

### RESUMEN

La energía geotérmica se utiliza en la actualidad para producir energía eléctrica en numerosos países. La producción total representa hoy en día un pequeño porcentaje de las necesidades mundiales de energía. La tecnología utilizada es similar a la de otras instalaciones del sector de generación eléctrica, por lo que está totalmente desarrollada, pero sólo se utilizan algunos de los escasos yacimientos de alta temperatura que existen en el mundo. Actualmente se están produciendo avances en las técnicas de explotación que presagian un cambio en la importancia relativa de esta forma de energía renovable. Estas nuevas técnicas de explotación convierten en ilimitados, a escala de las necesidades energéticas de la humanidad, los recursos geotérmicos. Algunos estudios prevén que la generación eléctrica geotérmica se convierta en una pieza clave del panorama energético mundial en un futuro a medio plazo. El desarrollo que se está produciendo en Alemania en estos momentos es significativo, y puede ser indicativo de lo que ocurrirá a nivel internacional en un futuro cercano.

**Palabras clave:** Energía, Energías renovables, Energía geotérmica, Producción de electricidad, Perspectivas energéticas.

### 1. INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica consiste en el aprovechamiento del calor almacenado en la

corteza terrestre. En los últimos años empieza a ser parcialmente conocida por el público en general por la creciente utilización en muchos países de nuestro entorno, y también en España, de las bombas de calor geotérmicas para climatización de edificios. A pesar de la relativa popularidad de esta tecnología, sigue existiendo un gran desconocimiento de la verdadera dimensión y de las perspectivas a medio y largo plazo de las diferentes formas de aprovechamiento de la energía geotérmica y, sobre todo, de la producción de energía eléctrica a partir de ella.

Incluso entre aquellas personas que por su formación técnica tienen un mayor conocimiento del tema están aún muy extendidos algunos prejuicios. Entre ellos podemos resaltar la idea de que la energía geotérmica sólo puede ser aprovechada en localizaciones de la corteza terrestre con unas características geológicas muy particulares, que la tecnología para su aprovechamiento está en fase experimental por lo que está poco extendido su uso, o incluso que la energía geotérmica no puede ser considerada como una forma de energía renovable.

La energía geotérmica puede ser utilizada, y así lo es en la actualidad en un gran número de países, de dos formas distintas: el aprovechamiento directo del calor (climatización de edificios, sistemas de calefacción de distrito, usos industriales, agrícolas,...) y la producción de energía eléctrica. Tradicionalmente cualquiera de

estas dos formas de aprovechamiento requería del cumplimiento de dos condiciones: la existencia de una zona geológica a una temperatura anormalmente alta a una profundidad accesible y la existencia de agua en esa localización. A los lugares que cumplen estas dos condiciones se les da el nombre de yacimientos geotérmicos, o hidro-geotérmicos para ser más precisos, y en función de su temperatura quedan determinadas sus posibilidades de utilización. Los yacimientos se pueden clasificar en función de su temperatura en yacimientos de baja temperatura (hasta 90 °C), temperatura media (entre 90 °C y 150 °C) y alta temperatura (por encima de 150 °C). La posibilidad de producir electricidad está reservada, en principio, a los yacimientos de alta temperatura.

Hoy en día estas dos condiciones, temperatura anormalmente alta y existencia de agua, no son estrictamente necesarias para el aprovechamiento energético de la corteza terrestre. Por un lado la tecnología de la bomba de calor permite aprovechar el suelo como fuente o sumidero de energía térmica sin necesidad de la existencia de agua ni de una temperatura mayor de lo normal. Con ello, la posibilidad de utilización de la bomba de calor geotérmica se extiende a casi cualquier lugar del planeta, independientemente de la existencia de lo que hemos denominado yacimiento geotérmico.

Por otro lado, para la producción de energía eléctrica, la necesidad de una temperatura anormalmente alta puede compensarse con una mayor profundidad de perforación en la corteza terrestre. También el desarrollo de nuevas tecnologías está permitiendo aprovechar yacimientos a temperaturas cada vez más bajas para producir energía eléctrica. Incluso la falta de agua en el subsuelo se podrá suplir con la inyección de la misma desde la superficie, lo que permitirá aprovechar los llamados yacimientos de roca seca caliente. De esta forma el número de localizaciones aptas para la producción de energía eléctrica de origen geotérmico, que estaba limitada a los escasos yacimientos hidro-geotérmicos de alta temperatura, se está multiplicando al incluir los de temperaturas medias y bajas y se incrementará en mayor medida cuando esté disponible la tecnología para explotar los yacimientos de roca seca caliente.

## 2. TECNOLOGÍAS ACTUALES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se puede decir, de manera algo simplificada, que existen en la actualidad tres tipos de centrales para la producción de electricidad a partir de un yacimiento hidro-geotérmico: plantas de vapor seco, plantas de evaporación súbita o flash y plantas de ciclo binario. El tipo de planta depende del estado del fluido almacenado en el yacimiento (vapor, agua líquida o una mezcla de ambos) y de su temperatura y presión. En la Figura 1 pueden verse unos esquemas simplificados del funcionamiento de estos tres tipos de centrales.

### 2.1 VAPOR SECO

Una planta geotérmica de vapor seco aprovecha el fluido en forma de vapor, tal y como sale de la perforación, conduciéndolo directamente a una turbina-generador para

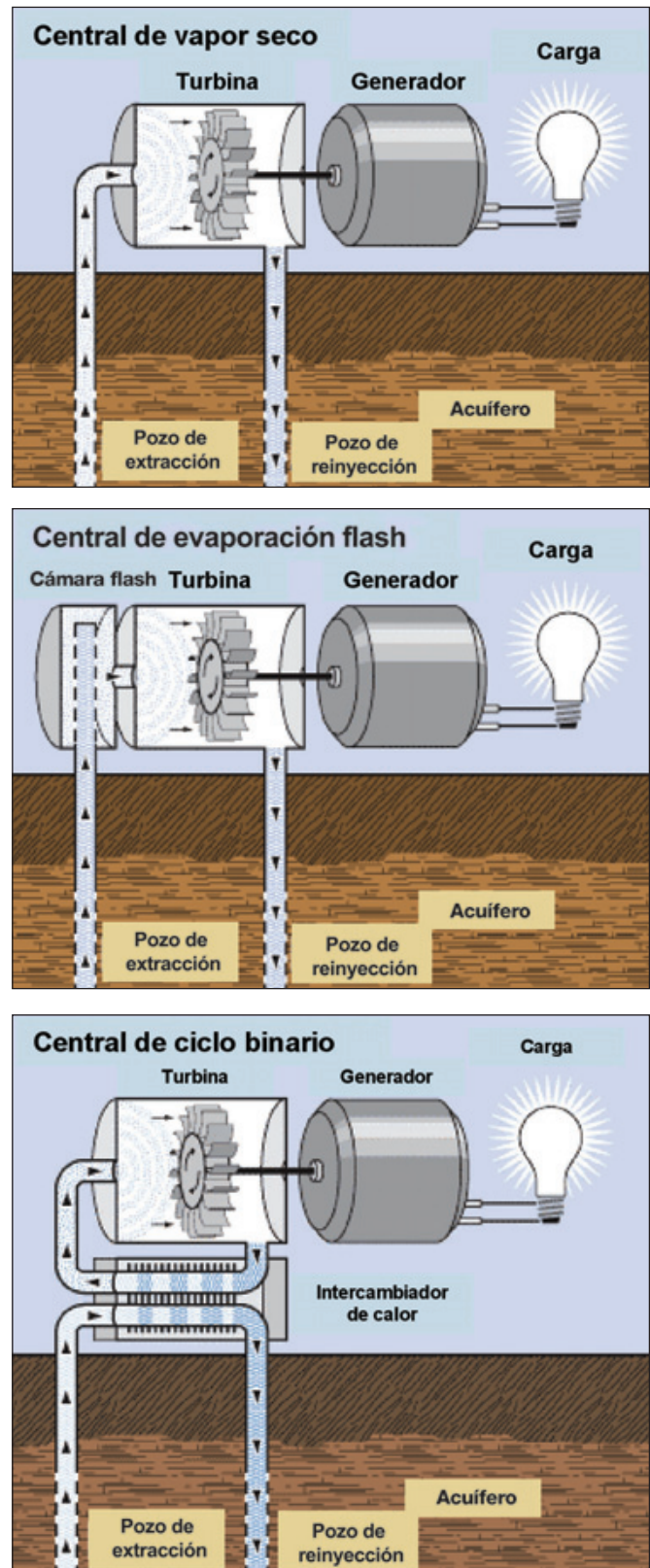


Figura 1: Principio de funcionamiento de los tres tipos de centrales geotérmicas:

- vapor seco
- evaporación flash
- ciclo binario

(Fuente: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy-EERE. U. S. Department of Energy-DOE)

producir electricidad. Esta tecnología es, por ejemplo, la que se emplea en las unidades que aprovechan el yacimiento de “The Geysers” en California, que constituyen en su conjunto

## La primera instalación geotérmica para producir energía eléctrica



Figura 2: La primera instalación geotérmica para producir energía eléctrica. En Larderello (Italia), en 1904, aprovechando un yacimiento de vapor seco.

la mayor central de producción eléctrica geotérmica del mundo. También es la tecnología que utilizaba la primera “central” de producción de energía eléctrica en el mundo, la de Larderello en Italia en 1904 (Figura 2).

El tipo de yacimiento que aprovechan estas centrales, con altas temperaturas (250 °C aprox.) y presencia de agua a una profundidad accesible, no es muy frecuente en la corteza terrestre, por lo que las centrales de vapor seco no son muy numerosas.

### 2.2 EVAPORACIÓN FLASH

Las plantas de evaporación flash son las más extendidas en la actualidad. Utilizan agua que sale del yacimiento en estado líquido, o en una mezcla de líquido y vapor, a temperaturas superiores a 180 °C y a presiones relativamente elevadas. Una disminución brusca de la presión a la salida del pozo provoca la evaporación súbita (flash) de parte del agua líquida. Este vapor es turbinado para producir energía eléctrica. La fracción líquida del fluido geotérmico puede ser sometida a un segundo estrangulamiento para producir una mayor fracción de vapor para turbinar y aumentar así la producción de energía eléctrica. La potencia instalada en una central de este tipo suele ser menor que en una planta de vapor seco, pero al ser más comunes este tipo de yacimientos y estar distribuidos de una forma algo más generosa por la superficie terrestre, el número de centrales de este tipo es mayor y la potencia total instalada es también mayor.

### 2.3 CICLO BINARIO

Las plantas de ciclo binario permiten el aprovechamiento de yacimientos a temperaturas menores. El fluido geotérmico en este tipo de plantas no atraviesa la turbina, sino que cede su energía térmica a un fluido orgánico de bajo punto de ebullición en un intercambiador de calor. El fluido orgánico, que se vaporiza en este intercambiador de calor, realiza un proceso cíclico (ciclo de Rankine) en el que se produce energía eléctrica al atravesar el fluido una turbina acoplada a un generador.

### 2.4 ASPECTOS COMUNES A LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS ACTUALES

En cualquiera de las tres tecnologías (vapor seco, evaporación flash o ciclo binario) el fluido geotérmico suele ser reinyectado en el propio yacimiento una vez extraída su energía térmica. Para ello se utiliza un pozo de reinyección a una distancia prudencial del de extracción. Con esto se consigue mantener el nivel de producción del yacimiento, haciendo que realmente se pueda considerar la energía geotérmica como una fuente de energía renovable. Existen yacimientos que vienen siendo explotados desde hace décadas sin que se haya apreciado una disminución en el potencial del mismo. Las causas que pueden provocar una pérdida de potencial del yacimiento son principalmente la falta de reinyección, una mala planificación del pozo de reinyección respecto al de extracción, o un régimen inadecuado de explotación del acuífero.

A grandes rasgos la tecnología (turbinas, generadores, sistemas de refrigeración,...) que se emplea en cualquiera de estas centrales no es específica, sino que es común con la del resto del sector de generación eléctrica. Incluso los aspectos más específicos de esta tecnología, como es la técnica de perforación, tiene mucho en común con la de la industria petrolífera, y es de hecho, gracias a eso, por lo que está disponible en la actualidad para estas aplicaciones.

La generación eléctrica geotérmica tiene un factor de capacidad (horas anuales de funcionamiento frente al total posible) mucho mayor que otras tecnologías renovables. A diferencia de otras energías, como la solar o la eólica, con fuertes dependencias estacionales u horarias, una central geotérmica puede estar totalmente operativa, salvo las necesidades de mantenimiento, 24 horas al día y 365 días al año.

## 3 TECNOLOGÍAS PARA EL FUTURO

El futuro de la producción de energía eléctrica geotérmica presenta dos horizontes claramente definidos. A corto plazo pasa por el aprovechamiento de yacimientos hidrogeotérmicos a temperaturas medias mediante ciclos binarios perfeccionados. A medio-largo plazo se basará en el aprovechamiento de los yacimientos de roca seca caliente, lo que multiplicará los recursos disponibles.

### 3.1 NUEVOS CICLOS BINARIOS

El ciclo binario más extendido en la actualidad es el ciclo **Rankine** con fluidos orgánicos (*Organic Rankine Cycle - ORC*). En este ciclo un fluido orgánico se evapora a una temperatura relativamente baja gracias a la energía que toma del fluido geotérmico en un intercambiador de calor. Posteriormente el vapor producido se expande en una turbina conectada al generador eléctrico. A la salida de la turbina el vapor condensa en otro intercambiador de calor refrigerado

por aire o por agua. El fluido condensado vuelve a ser llevado al evaporador mediante una bomba, cerrándose el ciclo.

Una modificación de este ciclo, que permite aprovechar mejor la energía térmica del fluido geotérmico, es el denominado ciclo **Kalina**. En este ciclo el fluido de trabajo es una mezcla (por ejemplo amoníaco + agua), que cambia de fase en el evaporador, no a temperatura constante, como ocurría en el ciclo Rankine, sino en un intervalo de temperaturas determinado. De esta forma la diferencia de temperaturas con el fluido geotérmico en el intercambiador de calor es menor que la que tenía lugar en el caso de un fluido puro (ORC). Esta característica hace que se pueda utilizar la energía térmica de fluidos a baja temperatura (caso del fluido geotérmico) de una forma más efectiva, consiguiéndose finalmente incrementos en la producción de energía eléctrica entre un 20 % y un 40 % respecto a un ciclo ORC. En la Figura 3 pueden verse los perfiles de temperaturas en el intercambiador de calor del fluido geotérmico y el fluido de trabajo en un ciclo **Rankine** y en un ciclo **Kalina**. El resto del ciclo es similar, salvo que en el condensador la temperatura tampoco permanece constante.

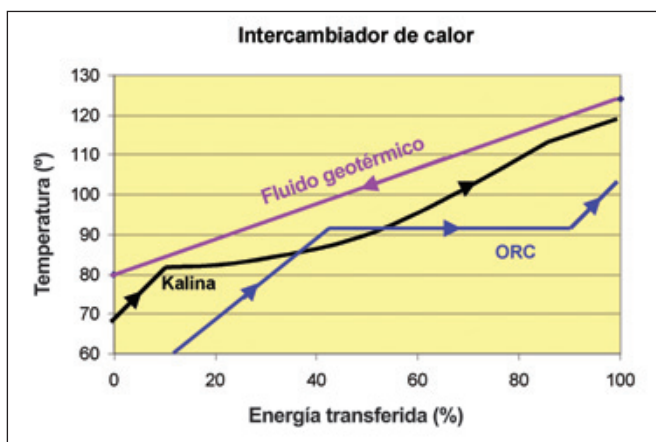


Figura 3: Comparación del perfil de temperatura del fluido de trabajo en un ciclo Rankine (ORC, en azul) y en un ciclo Kalina (en negro) en el intercambiador de calor que hace de evaporador del fluido de trabajo. El perfil de temperatura del fluido geotérmico en los dos casos aparece representado en morado.

La introducción de nuevos tipos de ciclos binarios, y las mejoras tecnológicas que se están introduciendo en los mismos, permiten que cada vez se puedan aprovechar yacimientos geotérmicos con menor temperatura. Recientemente ha entrado en funcionamiento en Alaska una pequeña central que produce electricidad a partir de un yacimiento de agua a 76 °C. También es cierto que, en este caso, la baja temperatura del ambiente exterior es un factor que favorece el aprovechamiento de este recurso. Los yacimientos de temperaturas media y, sobre todo, baja son los más numerosos con gran diferencia. Por ello las plantas de ciclo binario son las que están protagonizando en la actualidad un importante despegue, y serán en un futuro cercano las más numerosas y con una potencia total instalada mayor.

### 3.2 YACIMIENTOS DE ROCA SECA CALIENTE

Los yacimientos de roca seca caliente (*Hot Dry Rock – HDR* o *Enhanced Geothermal Systems - EGS*) son zonas

profundas (3 km – 5 km) de la corteza terrestre que se encuentran a una alta temperatura (200 °C – 300 °C), pero en las que no existe agua por sus características geológicas (rocas cristalinas, no permeables). Su aprovechamiento energético se basa en inyectar agua desde la superficie a través de un pozo de inyección, hacer circular este agua por un sistema de fracturas provocado artificialmente en la roca, y extraer el vapor por un segundo pozo de extracción. En la superficie, una turbina directamente acoplada al pozo de extracción, o un ciclo binario, producirán energía eléctrica. En la Figura 4 puede verse un esquema de principio del funcionamiento de una central de este tipo. La tecnología se

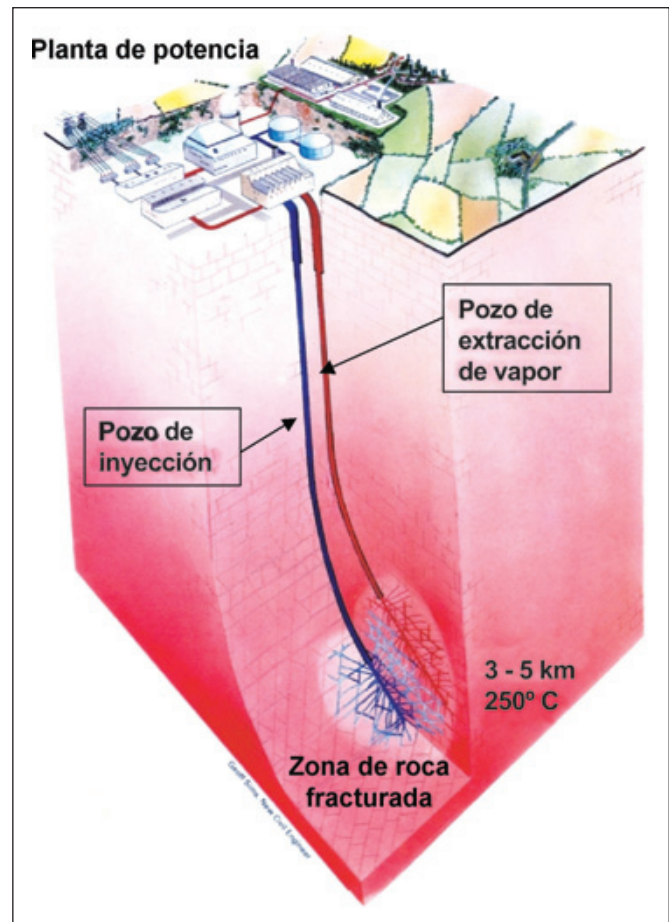


Figura 4: Esquema de una central de roca seca caliente (*Hot Dry Rock – HDR*) (Fuente: International Geothermal Association - IGA)

encuentra en una fase de desarrollo avanzado. Desde hace años hay diversos proyectos de gran envergadura a nivel internacional en los que se han alcanzado resultados esperanzadores. Entre los más avanzados está el proyecto europeo en **Soultz** (Francia), pero existen proyectos similares en EE.UU., Australia, Japón, etc. Los principales retos que deberá afrontar esta tecnología antes de alcanzar el nivel de madurez necesario para su explotación comercial son el desarrollo de nuevas técnicas de perforación a gran profundidad y de fractura controlada de la roca.

Este tipo de yacimientos son prácticamente ilimitados, y se encuentran distribuidos por toda la superficie terrestre. Su alta temperatura no se debe a características geológicas específicas de una localización concreta, sino a la

País	1990 MWe	1995 MWe	2000 MWe	2005 MWe	2007 MWe
Alemania	0.0	0.0	0.0	0.2	7.4
Argentina	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
Australia	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2
Austria	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1
China	19.2	28.8	29.2	27.8	27.8
Costa Rica	0.0	55.0	142.5	163.0	162.5
El Salvador	95.0	105.0	161.0	151.0	204.2
EE.UU.	2774.6	2816.7	2228.0	2544.0	2923.5
Etiopía	0.0	0.0	7.3	7.3	7.3
Filipinas	891.0	1227.0	1909.0	1930.0	1969.7
Francia (Guadalupe)	4.2	4.2	4.2	14.7	14.7
Guatemala	0.0	33.4	33.4	33.0	53.0
Islandia	44.6	50.0	170.0	202.0	421.2
Indonesia	144.8	309.8	589.5	797.0	992.0
Italia	545.0	631.7	785.0	791.0	810.5
Japón	214.6	413.7	546.9	535.0	535.2
Kenia	45.0	45.0	45.0	129.0	128.8
México	700.0	753.0	755.0	953.0	953.0
Nicaragua	35.0	70.0	70.0	77.0	87.4
Nueva Zelanda	283.2	286.0	437.0	435.0	471.6
Papua Nueva Guinea	0.0	0.0	0.0	6.0	56.0
Portugal (Azores)	3.0	5.0	16.0	16.0	23.0
Rusia	11.0	11.0	23.0	79.0	79.0
Tailandia	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Turquía	20.6	20.4	20.4	20.4	38.0
TOTAL	5831.1	6866.1	7972.9	8932.6	9967.4

Tabla 1: Evolución de la capacidad instalada de generación de energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos, por países y total, desde el año 1990 al 2007. (Fuente: International Geothermal Association)

profundidad a la que se encuentra la roca. El potencial energético de estos yacimientos es enorme y su aprovechamiento supondrá un salto de escala en la utilización de la energía geotérmica.

#### 4. ESTADO ACTUAL

La producción de energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos ocupa, a nivel mundial, el cuarto lugar dentro de



Figura 5: Centrales geotérmicas en el yacimiento "The Geysers", California. (Fuente: National Renewable Energy Laboratory – NREL. U. S. Department of Energy-DOE)

las energías renovables, por detrás de la hidráulica, la biomasa y la eólica. En el año 2007 la potencia instalada era de algo más de 9900 MWe, en instalaciones distribuidas por 24 países. En la tabla 1 se detalla la potencia instalada en cada país y su evolución en los últimos años. La energía producida anualmente por todas estas instalaciones alcanzaba una cifra de 54.7 TWh, lo que representa un escaso, pero no por ello despreciable, 0.3 % de la producción de energía eléctrica mundial. Más significativo es que en algunos países (Nicaragua, Filipinas, El Salvador e Islandia) la energía geotérmica cubre más de un 20 % de la demanda de energía eléctrica, llegando en el caso de Islandia hasta el 27 %.

Los mayores productores a nivel mundial son EE.UU. con una capacidad instalada de 2923 MWe, Filipinas con 1970 MWe, Indonesia con 992 MWe, y México con 953 MWe. En EE.UU. la principal instalación (y también a nivel mundial) es el conjunto de centrales de "The Geysers" en California (Figura 5), con una potencia total instalada de 1420 MWe, aprovechando un yacimiento de vapor seco (250 °C). Este yacimiento, en explotación desde 1962, está siendo sometido actualmente a un proceso de "regeneración" mediante la inyección de aguas residuales de la zona, previamente tratadas. Se pretende recuperar la capacidad que estaba perdiendo el yacimiento debido a una explotación poco racional del mismo.



Figura 6: Central geotérmica en Carbolí (Italia) (Fuente: Enel Green Power)

En la Unión Europea la potencia instalada alcanzaba en 2007 la cifra de 867 MWe localizados principalmente en Italia (810 MWe), donde hace poco han celebrado el centenario de la primera instalación geotérmica para producir electricidad en el mundo: **Larderello** en 1904. En esta misma localización hay actualmente una potencia instalada de 543 MWe en una serie de unidades (Figura 6) que

aprovechan un yacimiento de vapor seco a 250°C. En Portugal, más concretamente en la Isla de **San Miguel** (Azores), unas plantas de ciclo binario con una potencia instalada de 23 MWe proporcionan la cuarta parte de la electricidad consumida en la isla. Francia cuenta con 15 MWe en **Guadalupe** (territorios de ultramar: Antillas francesas). En Alemania en el año 2003 entró en funcionamiento una planta que mediante un ciclo binario de 200 kWe aprovecha un sondeo de agua a 98 °C. En la actualidad se está produciendo en Alemania un aumento espectacular del número de instalaciones que se comentará en el siguiente apartado. En Austria existen dos plantas operativas, utilizando ciclos binarios, una en **Blumau** (0.2 MWe) y otra en **Altheim** (1 MWe).

En España no existe en la actualidad ninguna instalación que a escala comercial produzca energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos. No obstante, algunas compañías (*Petratherm Quarterly Report September 2008*) empiezan ya a gestionar licencias de exploración y explotación en diferentes localizaciones: Madrid, Barcelona, Almazán (Soria), Sevilla, Alicante, Tenerife y Gran Canaria.

## 5. EL DESPEGUE DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ALEMANIA

En el año 2003 entró en funcionamiento en **Neustadt-Glewe** la primera central de producción de energía eléctrica geotérmica de Alemania (Figura 7). Aprovecha mediante un ciclo binario un yacimiento geotérmico de agua a 98 °C a una profundidad de 2200 m. Este yacimiento ya se utilizaba desde hace años en una red de calefacción de distrito. Un *by-pass* en la cabecera del pozo desvía a la central de ciclo binario parte del caudal, manteniendo el resto disponible para la red de calefacción de distrito. El fluido geotérmico llega al intercambiador de calor del ciclo binario a unos 97 °C y es enfriado hasta los 70 °C. El ciclo binario, más concretamente un Ciclo **Rankine** Orgánico (ORC), tiene una potencia instalada de 230 kWe y produce unos 1500 MWh al año, aproximadamente el consumo de unos 500 hogares. Esta central de pequeña potencia tiene un carácter de planta piloto, y los resultados de explotación han sido un estímulo para otros proyectos similares de mayor envergadura.

Desde esta primera instalación, y en el corto espacio de tiempo que ha transcurrido desde entonces, han entrado en funcionamiento, o se encuentran en avanzado estado de desarrollo, otras instalaciones de producción de energía eléctrica geotérmica en Alemania (ver tabla 2). Como ejemplo significativo se puede citar la instalación de **Landau-Pfalz**, aprovechando un yacimiento de agua a 150 °C y una profundidad de 3000 m – 3400 m. La potencia

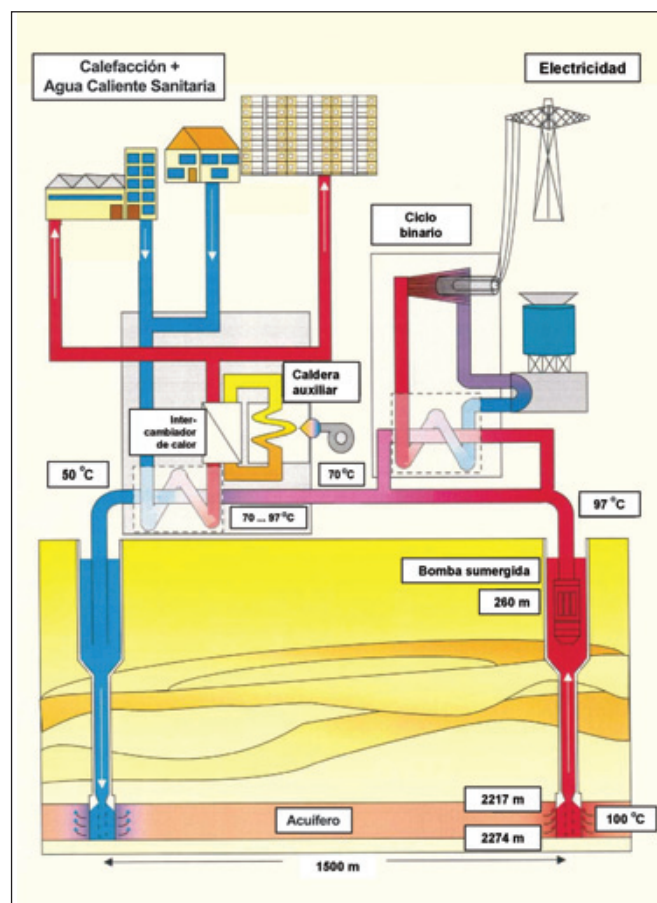


Figura 7: Esquema de funcionamiento de la central de Neustadt-Glewe (Alemania) (Fuente: Erdwärme-Kraft GbR. Erdwärme-Kraftwerk Neustadt-Glewe. )

eléctrica instalada de esta planta, que utiliza la tecnología ORC, es de 3.8 MWe. Otros 8 MWt se aprovechan en forma de calor.

Otro ejemplo es la instalación de **Unterhaching**, en el sur del país, con una potencia eléctrica instalada de 3.4 MWe. El yacimiento aprovechado, situado a una profundidad de 3300 m, proporciona agua a 123 °C. La planta proporciona también 40 MWt de energía en forma de calor. La instalación de **Unterhaching** es interesante por utilizar el ciclo **Kalina**, en lugar del más extendido ORC, con lo que aprovecha de una forma más eficiente un recurso a una temperatura más baja.

Por último, en **Bruchsal**, ha entrado en funcionamiento recientemente una pequeña instalación de ciclo binario (**Kalina**) de 550 kWe. El yacimiento, de 128 °C y 2500 m de profundidad, fue perforado en 1983 dentro de un proyecto de la Unión Europea. Durante algunos años el proyecto estuvo parado, hasta que en el año 2001 se retomó de forma definitiva.

Localización	Potencia eléctrica MWe	Tecnología	Características del yacimiento		Año de entrada en funcionamiento
			Temperatura °C	Profundidad m	
Neustadt-Glewe	0.25	ORC	97	2250	2003
Unterhaching	3.40	Kalina	123	3300	2007
Landau-Pfalz	3.80	ORC	150	3000	2007
Bruchsal	0.55	Kalina	128	2500	2008

Tabla 2: Instalaciones de producción de energía eléctrica geotérmica en Alemania en funcionamiento en la actualidad.

## El ciclo binario, más concretamente un Ciclo Rankine Orgánico (ORC), tiene una potencia instalada de 230 kWe y produce unos 1500 MWh al año, aproximadamente el consumo de unos 500 hogares

En la actualidad están en distintas fases de desarrollo más de 200 proyectos en Alemania, de características similares a los comentados. Se pueden destacar dos rasgos comunes en la mayoría de estas instalaciones. Por un lado utilizan yacimientos de media-baja temperatura, a profundidades relativamente elevadas. La segunda característica es que son instalaciones de cogeneración, produciendo energía eléctrica mediante un ciclo binario y haciendo posteriormente un uso directo de la energía térmica que le queda al fluido geotérmico.

Hay en Alemania, como en otros países europeos, una larga tradición en la utilización de recursos geotérmicos en redes de calefacción de distrito. Esto, unido a la inclusión explícita de la energía geotérmica en la política de promoción de las energías renovables en Alemania, con precios de compra garantizados de 0.15 € / kWh para instalaciones de hasta 5 MWe y 0.14 € / kWh para instalaciones de hasta 10 MWe, es lo que permite el importante desarrollo que se está produciendo en este momento.

El tipo de yacimientos que se están explotando son relativamente frecuentes por toda la superficie terrestre, por lo que el desarrollo que está teniendo lugar en estos momentos en Alemania es fácilmente extrapolable a otros países de su entorno.

### 6. PERSPECTIVAS FUTURAS

El despegue que está protagonizando la energía geotérmica en Alemania, aunque puede ser considerado tímido debido a la pequeña potencia de cada instalación por separado, puede llegar a ser prometedor. Algunos estudios pronostican una potencia instalada total de 600 MWe para el 2010, 16 000 MWe para el 2020 y 32 000 MWe para el 2050. La primera cifra no parece exagerada, sino más bien todo lo contrario, a tenor de los aproximadamente 200 permisos que existen en la actualidad para desarrollar nuevos proyectos, con una potencia media de 5 MWe – 10 MWe. Las previsiones para 2020 y 2050 de entrada pueden parecer exageradas. Sin

embargo es interesante compararlas con estudios similares para otros países.

En Estados Unidos, el país que actualmente cuenta con la mayor potencia instalada (2544 MWe), el Departamento de Energía (DOE) trabaja con el objetivo de aumentar en 15 000 MWe la potencia instalada en la próxima década. A más largo plazo, un informe presentado en el 2007 por un grupo interdisciplinar del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) titulado “*The Future of Geothermal Energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*,” concluye que, con una modesta inversión en I+D, se podría alcanzar en el 2050 una potencia instalada de 100 000 MWe.

Las predicciones a nivel mundial para el año 2010 son de 13 500 MWe instalados (Gawell 2007). Para el año 2020 las previsiones presentan, como es lógico una gran dispersión, desde valores de 46 000 MWe (Cataldi, 1999) hasta 5 900 000 MWe (Stefansson, 2000). Este último estudio supone que el 10 % de los recursos disponibles en el planeta pudieran ser utilizados, y que de ellos, la tercera parte se emplearan en producir energía eléctrica.

Aunque es arriesgado hacer predicciones a tan largo plazo, y entra de lleno en el terreno de la especulación, se puede concluir que alcanzar esas cifras en el año 2050 es posible, ya que la tecnología necesaria esta disponible, o en avanzado estado de desarrollo, y el recurso es prácticamente ilimitado y distribuido uniformemente por todo el planeta. El que se alcance o no ese nivel de implantación depende, lógicamente, de muchos factores.

### 7. CONCLUSIONES

A nivel mundial, los datos de producción actual y de potencia instalada, que se reflejan en la tabla 1, representan una ínfima parte del potencial real de la energía geotérmica para producir energía eléctrica. La tecnología necesaria tiene un alto grado de madurez, pero sólo se explotan algunos de los escasos yacimientos hidro-geotérmicos de alta temperatura que existen en el mundo, de ahí la pequeña importancia relativa a nivel global. En un futuro a corto plazo

**Aunque es arriesgado hacer predicciones a tan largo plazo, y entra de lleno en el terreno de la especulación, se puede concluir que alcanzar esas cifras en el año 2050 es posible, ya que la tecnología necesaria esta disponible, o en avanzado estado de desarrollo, y el recurso es prácticamente ilimitado y distribuido uniformemente por todo el planeta.**



el aprovechamiento de yacimientos de temperaturas medias e incluso bajas (mucho más numerosos) mediante ciclos binarios, como está sucediendo en la actualidad en Alemania, permitirán un aumento espectacular de la potencia instalada, con numerosas instalaciones de pequeña y media potencia. A medio y largo plazo la explotación de los yacimientos de roca seca caliente, con una distribución uniforme por toda la superficie terrestre, permitirán un importante cambio de escala en las cifras de producción.

La energía geotérmica es un recurso renovable que puede contribuir de una manera importante a la producción de energía eléctrica de un modo sostenible. Entre sus ventajas cabe resaltar que se trata de un recurso ilimitado, no contaminante, sin emisiones de CO<sub>2</sub>, y ampliamente distribuido. Su desarrollo permitirá una generación de electricidad descentralizada, sin dependencia de condiciones externas, por lo que podrá ser base durante las 24 horas del día y 365 días al año. Algunos estudios prevén que podrá convertirse en una pieza clave para garantizar el suministro energético a nivel mundial, y que su utilización será superior a la de otras fuentes de energía renovable como la biomasa, la eólica, la hidráulica o la solar.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Bertani R. "World geothermal power generation in the period 2001 – 2005". *Geothermics*. 2005, 34, 651–690.

- Bertani R. "World Geothermal Generation in 2007," *GHC Bulletin*, September 2007. Disponible en Web: <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull28-3/art3.pdf>

- Cataldi R. "Geothermal energy development in Europe to year 2020: prospects or hopes?". *Technica Poszukiwan Geologicznych*. 1999, 4-5, 48-59.

- Gawell K, Greenberg G. 2007 Interim Report: Update on World Geothermal Development (Washington, DC: Geothermal Energy Association, 1 May 2007). Disponible en Web: <http://www.geo-energy.org/publications/reports/GEA%20World%20Update%202007.pdf>

- Kagel A. The State of Geothermal Technology— Part II: Surface Technology (Washington, DC:

Geothermal Energy Association, January 2008). Disponible en Web: [http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20-%20Part%20II%20\(Surface\).pdf](http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20-%20Part%20II%20(Surface).pdf)

- Kagel A, Bates D, Gawell K. A Guide to Geothermal Energy and the Environment. Washington, DC: Geothermal Energy Association, 2007. Disponible en Web: <http://www.geoenergy.org/publications/reports/Environmental%20Guide.pdf>

- Stefansson V. "The renewability of geothermal energy". *Proc. World Geothermal Energy*, Japón, 2000.

- Taylor M. The State of Geothermal Technology— Part I: Subsurface Technology (Washington, DC: Geothermal Energy Association, November 2007). Disponible en Web: [http://www.geoenergy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20Part%20I%20-%20Subsurface%20Technology%20\(Nov%202007\).pdf](http://www.geoenergy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20Part%20I%20-%20Subsurface%20Technology%20(Nov%202007).pdf)

- E.U. and worldwide geothermal energy inventory. Observatoire des énergies renouvelables, Disponible en Web: [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro170.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro170.pdf)

- Geothermal Energy Barometer. Systèmes Solaires – Le Journal des Énergies Renouvelables n° 181 – 2007. Disponible en Web: [http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat\\_baro/observ/baro181.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat_baro/observ/baro181.pdf)

- *The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology, 2006. Disponible en Web: [http://www1.eere.energy.gov/geothermal/future\\_geothermal.html](http://www1.eere.energy.gov/geothermal/future_geothermal.html)

- Petratherm Quarterly Report September 2008. Disponible en Web: <http://www.petratherm.com.au/reports/downloads/activities662048.pdf>