

Dirección Nacional de Promoción  
Subsecretaría de Energía Eléctrica  
Secretaría de Energía  
República Argentina



ENERGIAS RENOVABLES 2004  
ENERGIA GEOTERMICA



## DEFINICIÓN

Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas.

## UN POCO DE HISTORIA - ORIGEN DEL CALOR INTERNO DE LA TIERRA

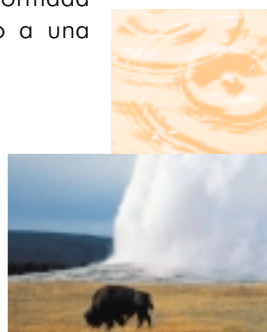
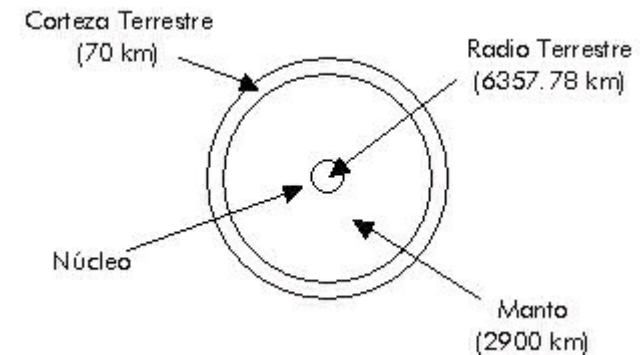
La Tierra almacena en forma de calor gran cantidad de energía. Diferentes hipótesis tratan de explicar a que se deben estas altas temperaturas existentes sobre el origen y posterior evolución del planeta.

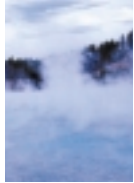
Las explicaciones más convincentes atribuyen a la acción combinada de varios fenómenos naturales, entre los que adquieren especial importancia los efectos residuales de la materia incandescente que constituyó las etapas iniciales y la contribución calórica proveniente de la desintegración de elementos radiactivos de vida prolongada.

## ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

En forma esquemática y simple, se puede considerar que la tierra está conformada por tres capas concéntricas, desde la superficie hasta su centro, ubicado a una profundidad de 6.357,78 km. Estas tres capas son:

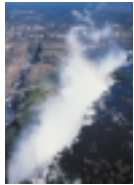
La superficial denominada CORTEZA TERRESTRE, está constituida por rocas en estado sólido y que podemos observar en forma directa. Su espesor rara vez supera los 70 km. (Fig. N°1)





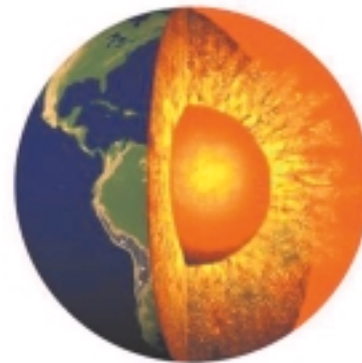
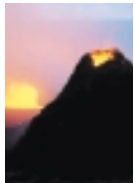
La segunda capa, denominada MANTO, se halla inmediatamente debajo de la anterior. Los materiales que la constituyen tienen una composición mineralógica completamente distinta de las de las rocas de la parte superficial, y una densidad bastante mayor.

Debido a las altas temperaturas existentes a esas profundidades y a la naturaleza de su constitución, esos materiales se hallan en estado semifundido, otorgándole al manto un comportamiento dinámico semejante al de una masa plástica.



Si bien no se puede comprobar visualmente, estudios geofísicos permiten suponer que las características observadas en la parte superior del manto se acentúan gradualmente hasta la profundidad de 2.900 Km.

A partir de allí nos internamos en la tercera capa denominada NÚCLEO caracterizada porque los componentes minerales que la constituyen poseen una densidad muy superior a las de las capas anteriores.



## EL CALOR QUE SUBE A LA SUPERFICIE

El calor contenido en los materiales que componen el NÚCLEO y el MANTO se transmite paulatinamente a la CORTEZA generando un flujo ascendente de calor que luego de atravesarla y alcanzar la superficie terrestre se disipa en la atmósfera.

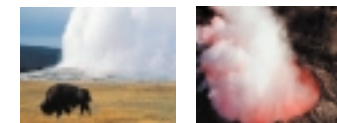
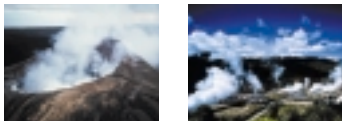
Este proceso se puede corroborar cada vez que se efectúa una perforación, aunque sea de relativa poca profundidad. Las temperaturas que se registran son siempre mayores en los niveles más profundos. Es conveniente aclarar, para evitar confusiones, que en los casos en que la perforación es muy superficial (y también en los primeros tramos de otras más profundas) el efecto mencionado no es observable por la presencia de aguas infiltradas circulantes que enmascaran el proceso térmico. Si esas aguas se conservaran más tiempo y no recibieran un constante aporte, alcanzarían la temperatura correcta.

Por regla general, en el sector más superficial de la corteza, la temperatura aumenta en un valor promedio de 3 grados centígrados por cada 100 metros de profundidad. Esta variación se conoce como "gradiente geotérmico". Cuando los valores de ese gradiente se encuentran entre 2 y 5°C cada 100 metros se consideran normales, mientras que los valores que exceden 5°C/100 m, habrá a 1.500 metros una temperatura de 180°C aproximadamente.

En la parte inferior de la Corteza Terrestre, más precisamente en el sector del contacto Corteza / Manto, existen algunas zonas que en razón de su particular configuración geológica, permiten que el flujo de calor ascendente que atraviesa la corteza y llega a la superficie, sea bastante más intenso que en la mayor parte de las áreas restantes.

Consecuentemente, en esas regiones los gradientes geométricos registran valores muy elevados, lo cual significa que a igual profundidad, las temperaturas son allí mayores que en las zonas gradientes normales.

Estas áreas "calientes" están preferentemente situadas en los fondos oceánicos, en los cuales el espesor de la corteza disminuye sensiblemente y posibilita el ascenso de calor del Manto y, en ocasiones, el del material fundido en forma de erupciones submarinas de lava. También constituyen regiones calientes de importancia, las cercanas a los cordones montañosos jóvenes, casi siempre coincidentes con bordes continentales de gran actividad volcánica y sísmica.



## PRESENCIA DE AGUA CALIENTE O VAPOR EN EL SUBSUELO

Es sabido que una parte del agua que se escurre por la superficie de la tierra (producto de lluvia, de deshielo, de cursos de agua, etc.) se infiltra en el terreno y, a través de grietas y fracturas puede alcanzar profundidades de varios cientos o hasta miles de metros.

Al encontrar en profundidad lechos de rocas suficientemente porosas, el agua circula a través de los poros de dichas rocas. Esos estratos por los cuales circula agua se conocen como "acuíferos". Por un principio físico elemental, el agua que llena los poros de ese estrato tiende a igualar su temperatura con la de la roca que la contiene.

Por lo tanto, de acuerdo con el ejemplo anterior, si el acuífero se encuentra en una zona con un gradiente de  $12^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  y a una profundidad de 1.500 m, deberá contener agua a una temperatura cercana a los  $180^{\circ}\text{C}$ .

Por otra parte, las rocas que conforman la corteza presentan frecuentemente grietas y fisuras. Si la masa acuosa que viene circulando por un acuífero se encuentra con una zona de grietas y fisuras, el agua puede alcanzar la superficie del terreno, produciéndose entonces un manantial o vertiente. (Fig. N°2)



Figura N°2

Si casualmente este hecho ocurriera en una zona donde el gradiente geotérmico es suficientemente anómalo como para que el agua del acuífero alcance una temperatura adecuadamente alta, estaremos en presencia de lo que se denomina en forma genérica "una manifestación hidrotermal".

## MANIFESTACIONES HIDROTERMALES

Este tipo de fenómenos tienen características singulares que las diferencian sensiblemente de los afloramientos de agua comunes. Por estar siempre asociados con las fases póstumas de los procesos volcánicos, además la temperatura que acusa el fluido, están también acompañados por la presencia de gases, principalmente carbónicos y sulfurosos, produciendo este último un olor fétido sumamente desagradable.

De acuerdo a las características que presentan estas manifestaciones reciben diferentes nombres, siendo las más comunes:

- Fumarolas: Nombre genérico dado a la emisión de gases y vapores a temperaturas muy elevadas, en ocasiones pueden alcanzar los  $500^{\circ}\text{C}$ . Se las suele diferenciar en base a su composición química en carbonatadas, sulfurosas, clorhídricas, etc.
- Solfataras: Conforman una variación de las anteriores que se diferencia por su mayor riqueza en vapor de agua, temperatura sensiblemente menor (inferior a  $200^{\circ}\text{C}$ ) y por eyectar chorros intermitentes de vapor de agua, hidrógeno sulfurado, gas carbónico y otros gases. Estas dos formas de manifestaciones pueden ser surgentes o fluir suavemente, dependiendo de la presión existente dentro del acuífero de donde provienen.
- Géiseres: Consisten en verdaderos surtidores de una mezcla de agua y vapor (a temperaturas entre  $70$  y  $100^{\circ}\text{C}$ ), con una gran cantidad de sales disueltas y en suspensión.

Es interesante el funcionamiento de estos últimos. La mezcla no tiene por sí suficiente presión como para alcanzar en forma continua la superficie del terreno. Debido a la gran cantidad de sales que lleva disueltas, éstas precipitan y solidifican en la parte cercana al orificio de salida, conformando una especie de "tapa". Esta situación provoca una acumulación de presión que finalmente vence la dureza de la cubierta, produciendo la surgencia de un chorro de agua y vapor que desaparece al volver a perder vigor.

El proceso tiene como especial particularidad la exactitud en los tiempos de duración del ciclo entre una erupción y otra. Este período puede ser de minutos, horas, días o meses, según cada caso, y en algunos de ellos conforman una atracción turística por la espectacularidad que desarrollan. Son célebres los géiseres de Islandia y los del Parque de Yellowstone, en EEUU.



## LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO

El uso más antiguo de los recursos geotérmicos, más precisamente de las aguas termales, tiene que ver con sus propiedades curativas (griegos, romanos, babilonios, etc.)

Son famosas las termas de Vichy en Francia, Carlsbad en Checoslovaquia, Carcalla en Italia. En nuestro país existen muchas localidades con aguas termales y algunas de ellas son utilizadas desde el punto de vista turístico y curativo. Son famosas las de Copahue en Neuquén, Río Hondo en Santiago del Estero, Reyes en Jujuy, Villavicencio en Mendoza, Rosario de la Frontera en Salta, etc.

También son aprovechables desde el punto de vista minero, recuperándose mediante diversos procesos las sales que contienen disueltas y que en algunos casos son de alto valor comercial, como por ejemplo sales de Boro, Litio, Cadmio.

No obstante, el aprovechamiento más importante de los recursos hidrotermales consiste en su utilización con fines energéticos.

### Extracción del calor

Además de las perforaciones de exploración, la explotación de un yacimiento geotérmico, al igual que uno petrolero, requiere de un cierto número de pozos de producción que, llegando hasta el acuífero, también denominado "reservorio", permitan que el agua caliente o vapor suban a la superficie.

Es muy importante tener en cuenta que la explotación de un yacimiento geotérmico debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que de él se extrae, no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero. Sólo bajo estas condiciones, el recurso energético puede ser considerado como una fuente de carácter "renovable".

Existen dos formas básicas de uso de la energía de origen geotérmico:

USO DIRECTO DEL CALOR, que se aplica para calefaccionar viviendas u otros tipos de edificios; para procesos industriales que utilizan calor, como por ejemplo las fábricas de celulosa, papel, conservas, harinas de pescado; para el secado de frutas y vegetales en general; para calefacción de invernaderos, establos y criaderos, para piscicultura, para calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías, para derretir la nieve de los caminos. Para cada una de estas aplicaciones es necesario que la temperatura del agua sea adecuada. La Figura N° 3 da una idea de posibles aplicaciones según la temperatura del agua o vapor disponibles.



Entre los países que utilizan el calor geotérmico para procesos industriales, agrícolas y de ambientación se pueden mencionar Islandia, Rusia, Hungría, Nueva Zelanda y otros.

USO ELÉCTRICO DEL FLUIDO. Consiste en la generación de electricidad mediante instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan el generador eléctrico.

En una usina térmica convencional el vapor "se fabrica" quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en la usina o planta geotérmica no es necesario gastar combustible pues es provisto directamente por la naturaleza.

Naturalmente este proceso no es tan simple como se menciona. En general el vapor viene mezclado con agua y ésta, a su vez, tiene disueltas sales. Será entonces necesario separar el vapor del agua para que pueda ser derivado a las turbinas.



VAPOR SATURADO

- 180°C Evaporación de soluciones altamente concentradas  
Digestión de pulpa de papel Kraft
- 170°C Procesamiento de agua pesada  
Secado de tierras de diatomeas
- 160°C Secado de madera  
Secado de harinas y productos similares
- 150°C Producción de alumina (proceso Bayer)  
Secado de verduras de alta velocidad
- 140°C Envasado de alimentos  
Refinación de azúcar
- 130°C Extracción de sales por evaporación  
Agua potable por evaporación
- 120°C Evaporación de efectos múltiples  
Potabilización de agua salada
- 110°C Desecado de verduras y otros vegetales  
Secado y curado de cemento
- 100°C Secado de pesacods, prod. de harinas  
Preparación de alimentos
- 90°C Calentamiento ambiental  
Derretimiento de nieve en carreteras
- 80°C Calefacción de establos y criaderos
- 70°C Agua caliente sanitaria  
Invernaderos
- 60°C Fermentación, biodegradación  
Calentamiento de suelos
- 50°C Baños termales  
Cultivo de hongos
- 40°C Calentamiento de suelos  
Tratamiento de aguas servidas
- 30°C Piscinas  
Criaderos de peces

AGUA CALIENTE

PRODUCCIÓN ELÉCTRICA



## APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La única manera que hasta el presente permite forma técnica y económicamente aceptable disponer del calor contenido en el interior de la tierra para su utilización como recurso energético, consiste en extraerlo del agua caliente o el vapor contenido en los acuíferos hidrotermales. Pero hallar una zona apta para ser explotada energéticamente requiere de un proceso exploratorio consistente en una sucesión de etapas en las que se conjugan estudios geológicos y geofísicos

progresivamente crecientes en especificidad y complejidad, y consecuentemente en inversión.

La experiencia acumulada en el mundo ha demostrado que las dimensiones superficiales de un yacimiento geotérmico se hallan comprendidas entre 10 y 100 km<sup>2</sup>. Si se tiene en cuenta que el proyecto de exploración se inicia sobre la totalidad de una zona, cuya extensión casi siempre sobrepasa los 15.000 km<sup>2</sup>, la localización de posibles yacimientos requieren intercalar etapas intermedias.

La primera se denomina de Reconocimiento y consiste en la realización de estudios con métodos superficiales a efectos de detectar las áreas de mejores posibilidades para continuar la exploración. Normalmente se explora sobre áreas de más de 10.000 km<sup>2</sup>.

La segunda etapa denominada Prefactibilidad, ya sobre superficies de entre 500 y 2.000 km<sup>2</sup>, busca definir las características del yacimiento geotérmico para determinar la ubicación de los pozos de exploración.

Finalmente en la etapa de Factibilidad se verifica la posibilidad técnica y económica de aprovechamiento del yacimiento y se definen los posibles sistemas de explotación.

En la figura N° 4 se ha puntualizado esquemáticamente, para cada una de las etapas del proceso de exploración, desarrollo y explotación geotérmica, los tipos de tareas fundamentales que se llevan a cabo y los objetivos que se persiguen.



Figura N°3





ETAPAS DEL PROCESO DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA				
RECONOCIMIENTO	PREFACTIBILIDAD	FACTIBILIDAD	DESARROLLO	EXPLOTACION
Sup > 10.000 km <sup>2</sup>	Sup 550 a 2000 km <sup>2</sup>	Sup 10 a 15 km <sup>2</sup>		
ESTUDIOS O TAREAS A REALIZAR				
Geología Geoquímica Hidrología	Geología Geoquímica Hidrogeología Geofísica Pozos someros	Pozos exploratorios Estudios de reservorios	Pozos de explotación Sistema de conducción Diseño de la planta	Funcionamiento de la planta Control de campo
OBJETIVOS BUSCADOS				
Circunscribir las áreas con mejores posibilidades	Determinar el modelo geotérmico preliminar y seleccionar la ubicación de los pozos de exploración	Verificar las características del yacimiento y determinar la conveniencia técnica y económica de su explotación	Crear las condiciones para una correcta explotación del yacimiento	

Figura N°4

Es importante no perder de vista que a medida que se avanza en el proceso, el monto de las inversiones va creciendo significativamente, por lo que se hace sumamente necesario evaluar detenidamente la conveniencia de llevar adelante una nueva etapa.

El primer intento para producir energía eléctrica se llevó a cabo en Larderello (Italia) en 1904, donde muchos años después se instaló una central geotérmica de gran potencia.

Después de 1950, otros países como Nueva Zelanda, EEUU, México, Japón, URSS, Islandia, El Salvador, Filipinas, Nicaragua, Indonesia, Kenya, han procedido también a la instalación de sistemas que producen electricidad mediante el empleo de esta fuente energética. La Figura N°5 permite ver la capacidad eléctrica instalada en un importante número de países.

USINAS ELECTRICAS DE ORIGEN GEOTERMICO			
Potencias instaladas en MW			
PAIS	1990	1995	2000
Argentina	0,67	0,67	0
Australia	0	0,17	0,17
China	19,2	28,78	29,17
Costa Rica	0	55	142,5
El Salvador	95	105	161
Ethiopia	0	0	8,52
France (Guadeloupe)	4,2	4,2	4,2
Guatemala	0	33,4	33,4
Iceland	44,6	50	170
Indonesia	144,75	309,75	589,5
Italy	545	631,7	785
Japan	214,6	413,71	546,9
Kenya	45	45	45
México	700	753	755
New Zealand	283,2	286	437
Nicaragua	35	70	70
Philippines	891	1227	1909
Portugal (The Azores)	3	5	16
Russia (Kamchatka)	11	11	23
Thailand	0,3	0,3	0,3
Turkey	20,6	20,4	20,4
USA	2774,6	2816,7	2228
Total	5831,72	6833,38	7974,06

Figura N°5



Una tecnología que, aún cuando ha sido demostrado fehacientemente que funciona sin inconvenientes es poco utilizada, es la denominada de "ciclo binario". Consiste en una planta en la que el fluido geotérmico producido por los pozos vaporiza un "fluido de trabajo" (normalmente un producto de bajo punto de vaporización) que es el encargado de mover la turbina que arrastra el generador. El fluido secundario cumple un circuito cerrado (Figura N° 6).

Esquema de una planta de ciclo binario

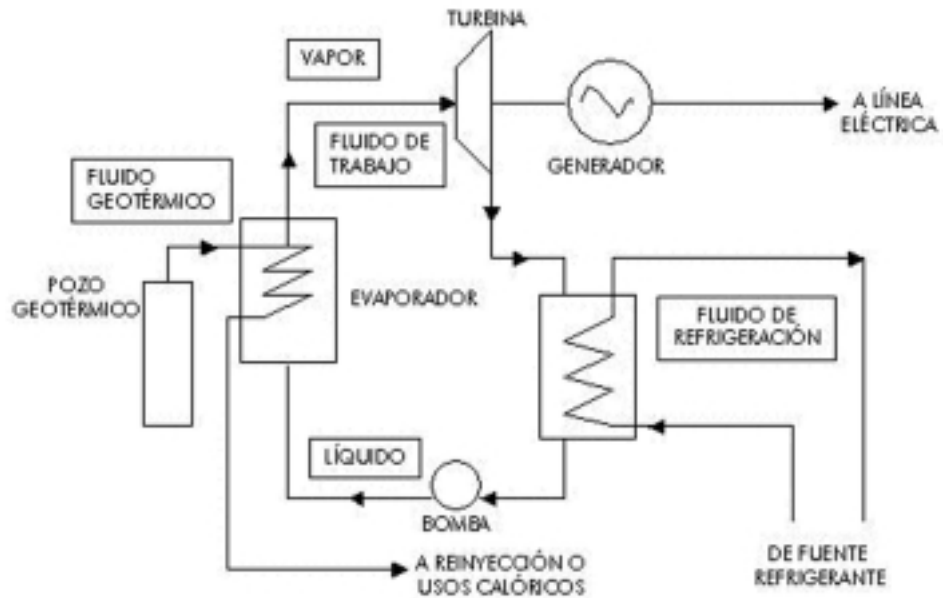
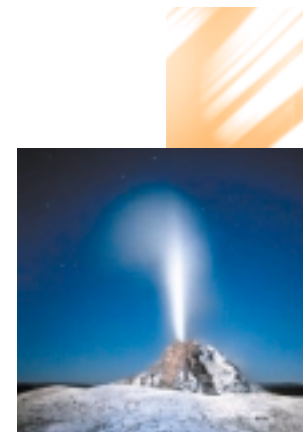


Figura N°6

Esta tecnología se aplica en los casos en que la temperatura del fluido geotérmico no es suficientemente alta como para producir vapor en forma natural. La razón primera por la que este sistema no alcanzó gran difusión estriba en que por las características técnicas y el equipamiento que requiere la energía producida resulta más cara que la del ciclo natural y en muchos casos no entra en competencia con otras fuentes energéticas.

No obstante ello, el progresivo encarecimiento de la energía producida por fuentes convencionales, a la que se suma el accionar de los grupos ambientalistas, están favoreciendo la instalación de plantas de ciclo binario para suplantar a las térmicas más sucias.





## LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ARGENTINA

De acuerdo con los rasgos geológicos que distinguen el flanco occidental del continente sudamericano (grandes cadenas montañosas jóvenes en bordes continentales de intensa actividad volcánica y sísmica), es válido suponer que en la Argentina existe un interesante recurso geotérmico.

Partiendo de ese convencimiento, desde 1972 se programaron estudios de prospección con el propósito de tomar un buen conocimiento de la potencialidad existente en el país.

Inicialmente, motivados por la presencia de importantes manifestaciones hidrometales en la región de Copahue (provincia del Neuquén), se realizaron, en 1974-75, estudios conducentes a determinar la ubicación de un pozo exploratorio que alcanzó una profundidad de 954 metros sin evidenciar la presencia de fluido caliente, pero con un buen gradiente geotérmico.

Con el fin de obtener información de otras zonas del país se efectuaron algunos estudios de tipo expeditivo en Rosario de la Frontera (Salta), Farellón Negro (Catamarca) y en el territorio de la provincia de Jujuy contratándose, en este caso, una empresa extranjera especializada a la que se le incorporó personal nacional para su capacitación.

Los resultados que fueron arrojando estos estudios indicaron la necesidad de instrumentar un programa de exploración que en forma organizada permitiera realizar estudios sistemáticos en distintas zonas del país que por sus características geológicas resultaban de mayor interés. Fue así que en 1979 se elaboró un Programa de Exploración Geotérmica en el que se individualizaron siete regiones, dentro de las cuales se circunscribieron quince zonas susceptibles de realizar estudios, once de las cuales resultaron objeto de reconocimientos.

Es importante aclarar que el principal objetivo que se perseguía a través de este programa era la obtención de una evaluación regional del recurso geotérmico, que permitiera visualizar las áreas que presentaban mejores posibilidades, tanto de alta como de baja temperatura, para poder definir a partir de allí una eventual política de desarrollo geotérmico.

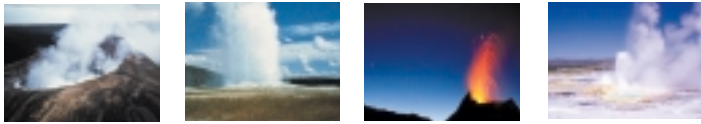
Como resultado de las tareas realizadas se identificaron más de veinte áreas de probable interés.

Los aprovechamientos efectuados hasta la fecha son muy pocos en comparación con las posibilidades técnicas que ofrece esta fuente de energía.

Desde el punto de vista de producción eléctrica, la única instalación que existe en el país se encuentra en el yacimiento de Copahue (Prov. del Neuquén). Se trata de una planta de ciclo binario de 670 kW de potencia que contribuye a alimentar las localidades termales y turísticas de Copahue y Caviahue. Es de aclarar que se eligió el sistema binario para producción eléctrica por razón de costo-oportunidad de la central y no por motivos técnicos.

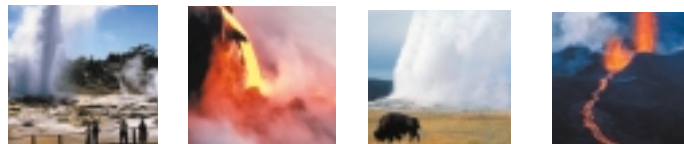
Las dificultades más grandes para un desarrollo sostenido de energía geotérmica con fines eléctricos se encuentran en los elevados costos de la exploración y lo alejado de las zonas pobladas de las principales áreas de interés geotérmico.





En cuanto a la posibilidad de efectuar aprovechamientos calóricos, cada caso debe ser estudiado muy cuidadosamente sopesando el costo del aprovechamiento y la importancia de la actividad económica en juego.

Se han realizado algunos aprovechamientos. Además de los usos en balneoterapia en distintos puntos del país, se puede mencionar la calefacción de algunos albergues en la zona de Las Ovejas (al Norte de la provincia del Neuquén, cerca de Cerro Domuyo). Se tiene en estudio algunos posibles aprovechamientos calóricos de tipo industrial (básicamente secado de productos agrícolas) en el noreste de La Rioja, pero todavía no se concretaron.



## Energías Renovables 2004 Energía Geotérmica

Copyright (C) 2004  
Secretaría de Energía

Título Original de la Obra:  
Energías Renovables 2004 - Energía Geotérmica

Publicado por:  
Secretaría de Energía

Desarrollado por:  
Dirección Nacional de Promoción  
Subsecretaría de Energía Eléctrica

Edición, diagramación y diseño:  
Tecnología de la Información  
Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera  
Secretaría de Energía

<http://energia.mecon.gov.ar>



<http://energia.mecon.gov.ar>