



# La Tierra, un planeta con un inmenso potencial de energía: Segunda parte – El futuro promisorio de la Geotermia

**Ignacio S. Torres Alvarado**  
Centro de Investigación en Energía,  
UNAM

**Edgar R. Santoyo Gutiérrez**  
Centro de Investigación en Energía,  
UNAM, y Miembro de la Academia  
de Ciencias de Morelos

En la primera parte de este artículo (La Unión de Morelos, 8 de agosto de 2011) explicamos las características principales de la energía geotérmica, enumeramos sus múltiples aplicaciones (con un mayor énfasis hacia la generación de electricidad) y describimos el gran potencial que se tiene a nivel mundial y en nuestro país en este renglón de recursos geotérmicos. En ese artículo también presentamos las características de los sistemas hidrotermales, hoy en día, los más explotados en el mundo. Relatamos que en este tipo de sistemas, se tienen fluidos (agua) que han sido calentados por el contacto con rocas y que éstos pueden ser extraídos como agua caliente o vapor mediante pozos (de hasta 3.5 km de profundidad) para aprovechar su energía calorífica.

En esta segunda parte describiremos otros tipos de sistemas geotérmicos también disponibles, en especial los sistemas geotérmicos mejorados (mejor conocidos como sistemas de roca seca caliente), que dadas sus características geológicas y su mejor distribución en la Tierra, constituirán una inmensa fuente de energía que podrá aprovecharse en el futuro para satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad.

Además de los sistemas geotérmicos hidrotermales (o "sistemas hidrotermales convectivos"), en la Tierra se han identificado otros tipos de sistemas geotérmicos, entre los cuales destacan los siguientes:

a) Sistemas geotérmicos geopresurizados. Éstos contienen agua y metano (CH<sub>4</sub>) disuelto a una alta presión ( $\approx 700$  bar, la presión atmosférica es aproximadamente de 1 bar) y temperaturas entre 90 y 200 °C. Estos sistemas ofrecen tres tipos de energía: térmica (agua caliente), química (por su contenido de gas metano) y mecánica (debido a la disponibilidad de fluidos a muy alta presión). Desafortunadamente, estos sistemas no se explotan comercialmente, no obstante que se han descubierto ya algunos en Texas y Louisiana, Estados Unidos.

b) Sistemas geotérmicos asociados

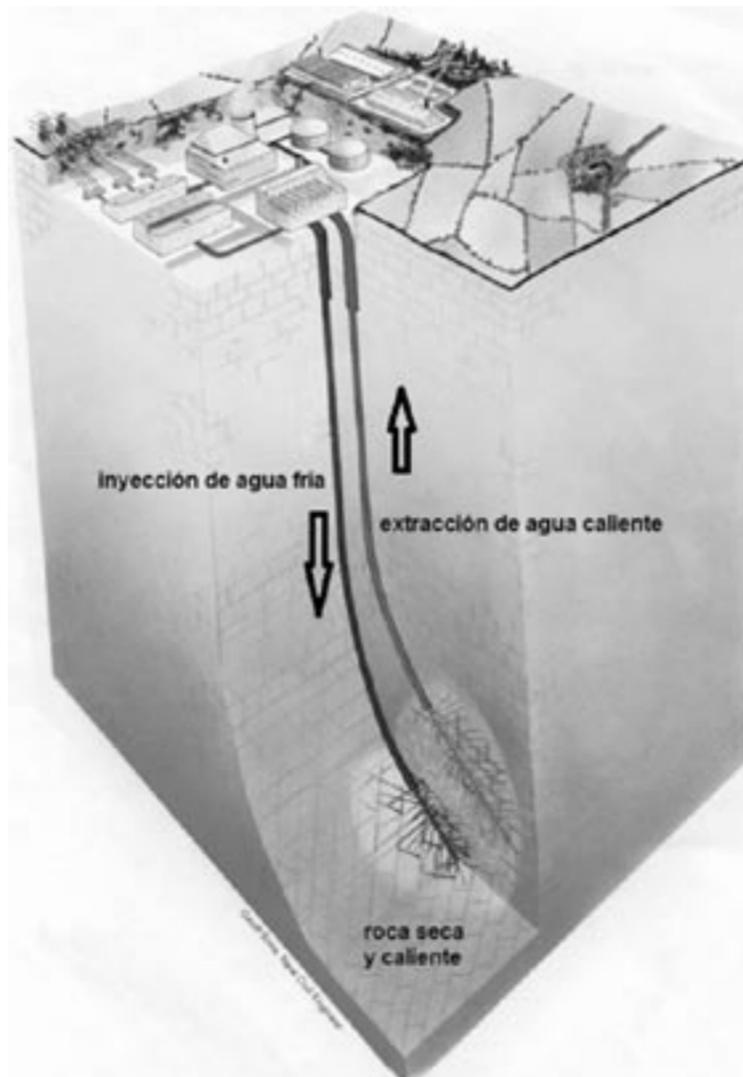


Figura 1. Modelo simplificado de un sistema geotérmico mejorado.

con cuencas sedimentarias. Estos sistemas pueden producir recursos de baja y mediana temperatura (de 20 a 150 °C), y debido a sus flujos de calor y a la baja conductividad térmica de las rocas, suelen presentar atractivos gradientes geotérmicos superiores a los normales (mayores a 30 °C por km). Estos sistemas se han identificado en el Norte y Sur de Dakota, Montana y Wyoming en los Estados Unidos, así como en la cuenca Pannonian en Europa centro-oriental.

c) Sistemas geotérmicos radiogénicos. Estos sistemas están asociados con cuerpos subterráneos de rocas graníticas, que con el calor generado por el decaimiento radioactivo de los isótopos de torio, potasio y uranio, suelen calentar el agua que circula a esa profundidad. Este proceso de calentamiento incrementa los gradientes geotérmicos y provee también un fluido factible de aprovecharse por medio de la perforación de pozos profundos. Sin embargo, este tipo de recursos geotérmicos no ha sido todavía explotado comercialmente.

sistemas geotérmicos marinos en el Golfo de California con fluidos que presentan temperaturas de hasta 350 °C.

e) Sistemas geotérmicos magmáticos. Estos sistemas se asocian a roca fundida (magma) atrapada en la corteza terrestre, debido a la existencia de aparatos volcánicos activos o en zonas donde la corteza está fracturada. El aspecto más importante de este tipo de recursos son las altas temperaturas disponibles, generalmente mayores a 800 °C. Existen algunos proyectos experimentales desarrollados en Hawaii y en Islandia, en donde se pretende extraer su energía térmica. Sin embargo, la explotación comercial vendrá más adelante cuando se cuente con la tecnología y los materiales adecuados para resistir la corrosión y las altas temperaturas dominantes en estos sistemas.

f) Sistemas geotérmicos supercríticos. Se ubican a grandes profundidades (entre 5 y 6 km) y contienen fluidos geotérmicos en estado supercrítico (es decir, un estado intermedio entre líquido y gas) alcanzando temperaturas de hasta 600 °C. Se estima que el fluido supercrítico almacenado puede proveer hasta 10 veces más energía que la de un fluido hidrotermal convencional. Debido a sus características termodinámicas, la capacidad instalada probable de estas plantas de energía podría incrementarse en varios órdenes de magnitud y con un número mucho menor de pozos que los que requieren los sistemas geotérmicos hidrotermales. Estos sistemas son actualmente estudiados en Islandia, en donde se desarrolla un proyecto piloto para evaluar la

factibilidad de su explotación.

g) Sistemas geotérmicos mejorados. Estos sistemas, llamados "sistemas de roca seca caliente", constituyen el mayor potencial promisorio de la energía geotérmica a nivel mundial. Estos sistemas cuentan con roca a una alta temperatura (alrededor de 650 °C) que actúa como fuente primaria de calor, y que se localiza a una profundidad que oscila entre los 2 y 4 km, con la particularidad de no contar con agua suficiente para poder transportar toda su energía hacia la superficie.

La explotación de estos sistemas geotérmicos mejorados requiere la inyección de agua fría y la creación de una red de fracturas en la roca, que funge como un intercambiador de calor y como conductor del agua, para poder extraer el fluido sobrecalentado a través de pozos construidos para la extracción (ver Figura 1). En la superficie, el fluido extraído (vapor) podrá transportarse hacia un turbogenerador donde su energía térmica será convertida en energía eléctrica. Alternativamente, la energía térmica del fluido extraído podrá ser transferida a un líquido de bajo punto de ebullición para producir vapor (planta de ciclo binario), que subsecuentemente permitirá la producción de energía eléctrica.

Por el inmenso potencial de los sistemas geotérmicos mejorados y su distribución prácticamente uniforme en toda la Tierra, se estima que para el 2050 podrían obtenerse alrededor de 100,000 MW (10<sup>6</sup> watts) de energía. Un estudio reciente realizado, por un panel de expertos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), estimó que tan sólo en el territorio de los Estados Unidos se tienen censados



Figura 2 Fotografía de una planta geotermoeléctrica típica.



¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS:  
edacmor@ibt.unam.mx

recursos geoenergéticos recuperables de alrededor de los 200,000 Exajoules ( $10^{18}$  J), lo que equivale a 2,000 veces la demanda anual de energía primaria de ese país. Esta promisoría tecnología se encuentra en fase de investigación y desarrollo en otros países como Australia, Francia, Japón y Alemania, aunque habrá que reconocer que aún se requieren tareas científicas y tecnológicas importantes por desarrollar antes de poder explotar comercialmente estos sistemas.

Los principales retos que afronta esta tecnología para su explotación comercial son el desarrollo de nuevas técnicas de perforación de pozos a gran profundidad, el fracturamiento controlado en la roca y la comunicación entre los pozos inyectoros y productores de extracción para asegurar el transporte efectivo del fluido caliente hacia la superficie. El potencial energético de los sistemas geotérmicos mejorados es enorme y su probable aprovechamiento integral supondrá una transición muy importante en la futura utilización de la energía geotérmica.

Para concluir, la energía geotérmica es ya reconocida como una de las energías renovables con mayor madurez tecnológica y

sustentabilidad energética a nivel mundial. Este reconocimiento tecnológico está avalado por la vasta experiencia adquirida durante la operación sustentable de los yacimientos productores y sus plantas geotermoeléctricas. Producto de esta madurez tecnológica es el hecho de que varios campos geotérmicos han sido explotados por tiempos muy largos, por ejemplo, Larderello en Italia con ~100 años, Los Geysers en Estados Unidos con ~78 años y Cerro Prieto en México con ~33 años, sin que den señales significativas de agotamiento de sus reservas energéticas.

En general, las plantas geotermo-

eléctricas tienen un factor de capacidad muy alto (~95%), ya que operan en forma casi ininterrumpida los 365 días del año, excepto cuando se realizan paros técnicos de mantenimiento (ver Figura 2).

Hoy en día, la geotermia representa el 0.4 % del total de la generación eléctrica mundial, aun cuando sólo se explotan los sistemas hidrotermales de alta temperatura, que constituyen una fracción muy pequeña de la inmensa cantidad de energía disponible

Sin embargo, estudios científicos recientes sobre el desarrollo de técnicas mejoradas de exploración y explotación para nuevas gene-

raciones de sistemas geotérmicos muestran que, a mediano plazo, la generación geotermoeléctrica se convertirá en una pieza clave dentro del abanico energético mundial.

La inmensa cantidad de energía térmica producida continuamente en estos sistemas geoenergéticos y los largos tiempos geológicos requeridos para su agotamiento hacen que la geotermia sea verdaderamente considerada como una fuente de energía renovable y prácticamente inagotable.

En México, se tiene experiencia en la explotación de los sistemas hidrotermales acumulada a lo largo de más de 60 años, convirtiéndolo en uno de los países líderes en el aprovechamiento de estos recursos (ver Figura 3). Sin embargo, se requiere optimizar el aprovechamiento de estos recursos, además de la urgente necesidad de desarrollar ciencia y tecnología para acelerar la exploración y explotación de los sistemas geotérmicos mejorados.

Esto hace necesario que el país apoye más las tareas de investigación y desarrollo tecnológico para explotar conjuntamente todas las fuentes de energía renovables disponibles en nuestro planeta y, de esta forma, contribuir a la diversificación

energética para atender la futura demanda de energía en nuestro país. El desarrollo de las energías renovables no es una moda o usanza pasajera, sino que debe ser adoptado como una estrategia prioritaria en el portafolio energético de todos los países.

Es claro que para lograr alcanzar estos importantes retos e impulsar el uso masivo de energías renovables y limpias, además del desarrollo de investigación científica y tecnológica, se requiere de un programa de formación de recursos humanos altamente especializados para su respaldo. En este contexto, el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) contribuye, hoy en día y de manera importante, con la oferta de programas educativos de excelencia a nivel licenciatura y posgrado sobre el estudio de las energías renovables (ver [www.cie.unam.mx](http://www.cie.unam.mx)).

Nota: En parte, este texto apareció originalmente en el libro "Energías Renovables: 25 Años de la UNAM en Temixco". Agradecemos al Centro de Investigación en Energía de la UNAM, el compartirlo para su publicación en este espacio de divulgación.

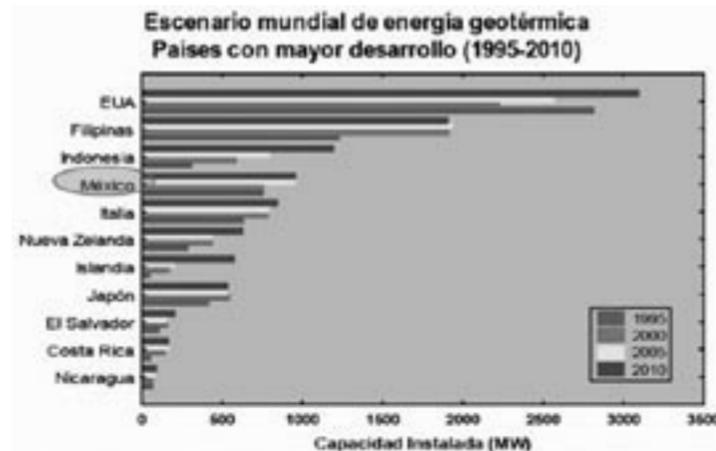


Figura 3. Evolución del uso de la energía geotérmica a nivel mundial

# TLAYACAPAN ES DISTINGUIDO COMO PUEBLO MÁGICO

Orgullosamente es el segundo municipio del Estado de Morelos en obtener este nombramiento.

**ESTE DISTINTIVO HACE DEL TURISMO UNA ACTIVIDAD ECONÓMICA REDITUABLE**

Tlayacapan es un Pueblo Mágico por cada una de las expresiones tradicionales, culturales y artísticas:

- Por sus habitantes
- Por su legado histórico
- Por su alfarería
- Por sus tradiciones
- Por sus riquezas naturales
- Por la Cerería

**INCREMENTO SUSTANCIAL EN LA ECONOMÍA MORELENSE**

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)