

La Tierra, un planeta con un inmenso potencial de

Edgar R. Santoyo Gutiérrez

Centro de Investigación en Energía, UNAM, y Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

Ignacio S. Torres Alvarado

Centro de Investigación en Energía, UNAM

No es una casualidad que muchas culturas del pasado hayan ubicado en el interior de nuestro planeta regiones más calientes que en la superficie. Seguramente, el hombre antiguo se percató muy pronto de que la temperatura aumenta a medida que se avanza en dirección al centro de nuestro planeta. Esta energía térmica se manifiesta de muy diversas maneras en la superficie, a través de la presencia de lodos y manantiales calientes, fumarolas, sulfataras, géiseres, y con seguridad la forma más espectacular de todas, las erupciones volcánicas.

La energía térmica almacenada en el interior de nuestro planeta, mejor conocida como Geotermia, ha sido usada por el ser humano desde tiempos muy remotos. Los baños que tomaban nuestros ancestros en aguas termales con fines recreativos, terapéuticos y hasta ceremoniales, son su uso más antiguo. Por ejemplo, el Emperador Nezahualcōyōtl disfrutaba las visitas a los manantiales termales y sulfurosos de Oaxtepec, Morelos.

El placer que proporciona el permanecer varios minutos en una poza de aguas termales es incluso valorado por algunos otros seres vivos además del ser humano, como lo muestran las conocidas fotografías o videos de los monos macacos en Nagano, Japón, gozando en las pozas termales rodeadas de nieve (ver algunos detalles en <http://www.taringa.net/posts/imagenes/7382099/monos-en-el-valle-del-infierno.html>).

El origen de esta forma de energía tiene que ver con la génesis del planeta mismo y con su estructura interna. Recordemos que en el centro de la Tierra existe un núcleo sólido formado básicamente de una aleación de hierro y níquel, que se encuentra a presiones y temperaturas muy elevadas. Alrededor del núcleo sólido interno existe una región líquida principalmente de hierro fundido (núcleo externo) que a su vez, está limitado por el manto (roca en estado semifundido) y finalmente por la cor-

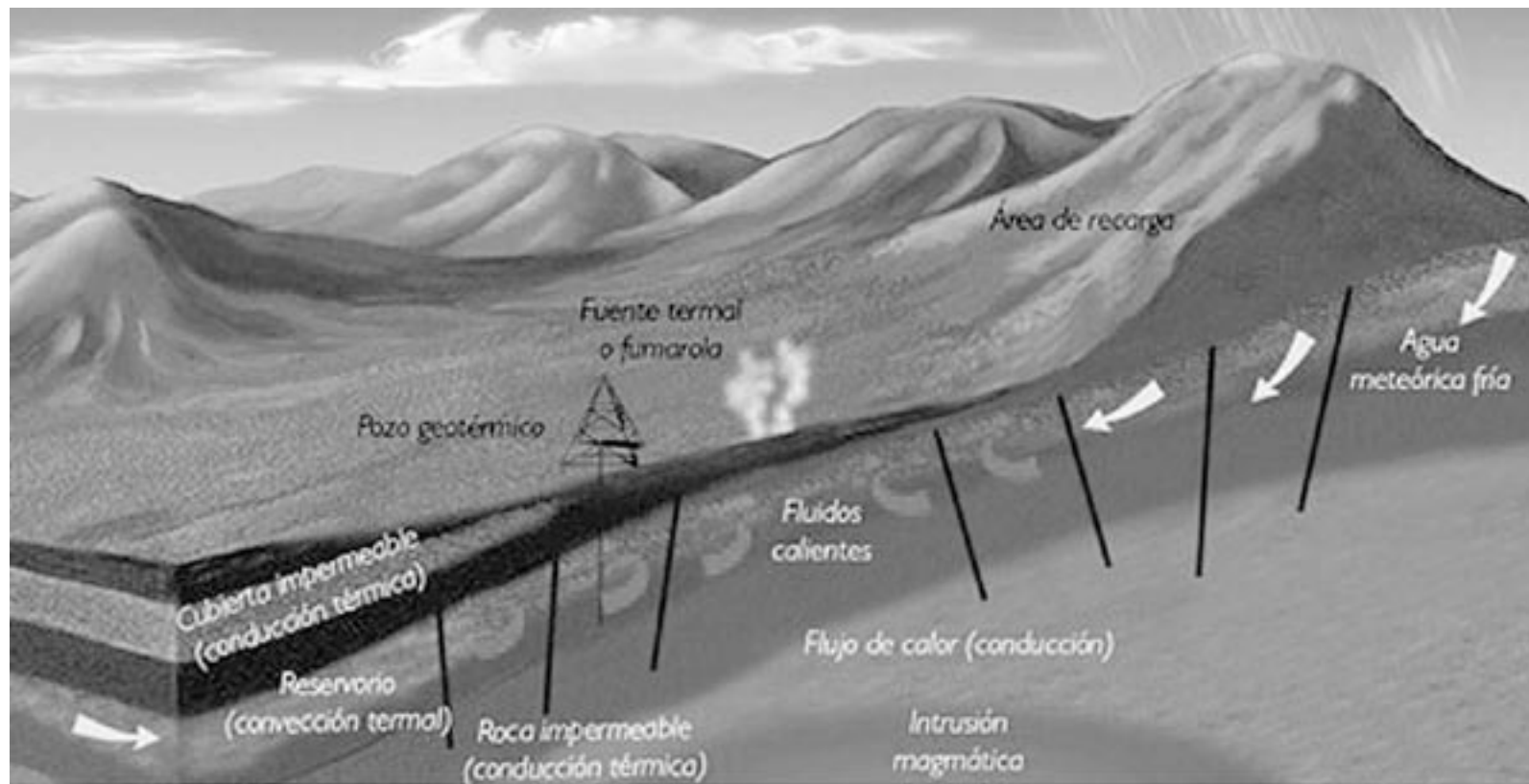


Figura 1. Modelo simplificado de un sistema geotérmico "hidrotermal".

teza terrestre en donde vivimos. Se estima que la temperatura en el núcleo de la Tierra alcanza aproximadamente los 6000 °C, mientras que la temperatura en la parte inferior de la corteza (entre 50 y 100 km de profundidad) varía entre los 500 y 900 °C.

La desintegración de isótopos radioactivos de vida larga (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K ; ver por ejemplo, los artículos "La radioactividad. Sus usos: aplicaciones y complicaciones" publicados por R. Arredondo, en La Unión de Morelos, 30 mayo y 6 de junio, 2011) genera continuamente una inmensa cantidad de calor, la cual contribuye a la reposición de esta energía en las entrañas de nuestro planeta. El calor total que fluye del interior de la Tierra hacia la superficie se estima en aproximadamente 42 Tera Watts (10^{12} watts) del cual 19% proviene de la corteza, el 76% proviene del manto y el 5% proviene del núcleo.

Debido a la lenta conducción de calor de las rocas existentes en el subsuelo (por su baja conductividad térmica), se requieren cientos de millones de años para poder agotar este recurso energético. Con base en las propiedades renovables del flujo de calor y los largos tiempos geológicos requeridos para su agotamiento, la energía de la Tierra es considerada por muchos científicos como una fuente de energía renova-

ble, prácticamente inagotable, y por su disponibilidad natural en todo nuestro planeta, quizás la mejor distribuida, junto con la energía solar.

En promedio, la temperatura en el subsuelo aumenta unos 33 °C por cada km de profundidad. Sin embargo, en ciertas regiones este *gradiente* de temperatura puede llegar a ser hasta de 100 °C cada km, lo cual permite concentraciones de energía en zonas relativamente someras de la corteza terrestre (3 ó 5 km de profundidad), donde se pueden alcanzar temperaturas entre 300 y 500 °C. Algunos otros factores geológicos favorables (como por ejemplo, la existencia de rocas porosas), permiten la presencia de agua en esas regiones sobrecalentadas conocidas como yacimientos o reservorios hidrotermales, las cuales reciben la energía almacenada en las rocas (ver Figura 1).

El agua caliente puede llegar a la superficie por medio de fracturas o fallas, manifestándose en la superficie como *manantiales termales*. Si la temperatura del agua sobrepasa su punto de ebullición, se forma vapor de manera natural que suele alcanzar la superficie y manifestarse como fumarolas. Estos recursos de energía térmica están naturalmente disponibles en la superficie, sin tener que quemar ningún combustible para su generación. El fluido geotérmico (agua caliente o vapor) puede

ser extraído por medio de pozos y transportado por tuberías hasta turbinas y generadores de electricidad, creando así lo que se conoce como una planta geotermoeléctrica.

Una de las ventajas más importantes de la energía geotérmica es que puede ser usada no solamente para generar electricidad, sino en una amplia gama de aplicaciones o usos directos, entre los cuales destacan: la calefacción de edificios, invernaderos o incubadoras; en la acuicultura; en diversos procesos industriales (secado de productos, empaque de alimentos, fabricación de papel, productos químicos, etc.); balnearios recreativos y medicinales, y muchas otras aplicaciones. De hecho, las aplicaciones de la geotermia pueden darse integralmente una tras la otra en procesos en "cascada" con el objeto de aprovechar íntegramente el contenido energético. Por ejemplo, el fluido geotérmico que sale de una planta geotermoeléctrica conserva una temperatura del orden de los 150 °C, por lo que puede ser aprovechado para el secado de madera o para refrigeración de espacios (lo que pareciera una aplicación paradójica al usar un fluido caliente para enfriar); de ahí, todavía con una temperatura de 100 °C, podría ser usado para la calefacción de un invernadero o de viviendas; de estos lugares saldría a unos 50 °C, para finalmente, poder ser em-

pleado con fines de recreación en balnearios. Hoy en día, esta enorme fuente de energía es aprovechada con muy diversos fines en más de 70 países en todo el mundo.

La posibilidad técnica y económica de explotar la energía térmica de la Tierra con fines de producción de electricidad, actualmente es toda una realidad. A partir de condiciones especiales de temperatura (mayores a 200 °C), profundidad (menor a 3.5 km), rocas de mediana a alta porosidad y permeabilidad, una recarga natural de fluido confirmada, entre otras, dan lugar a la formación de uno de los sistemas geotérmicos más comúnmente explotados de la actualidad, denominados sistemas geotérmicos hidrotermales.

La búsqueda de sitios geotérmicos con estas características, así como la perforación de pozos para la extracción de sus fluidos endógenos, ha requerido la generación de tecnología y herramientas especiales para su aprovechamiento óptimo. Estas tecnologías han sido desarrolladas exitosamente en la mayoría de países en donde se aprovechan estos recursos, siendo México uno de los países más avanzados.

La exploración de este tipo de yacimientos geotérmicos inicia con la realización de estudios geológicos, en donde se busca conocer los tipos de roca, sus

energía: Primera parte - Los sistemas geotérmicos

edades y composición química, así como su relación con eventos magmáticos o volcánicos recientes. Los estudios geológicos también permiten identificar la existencia de fracturas y fallas que conducen al conocimiento de la porosidad y permeabilidad de las rocas. A los estudios geológicos les sigue una campaña de estudios geoquímicos, con los cuales se caracterizan química e isotópicamente los fluidos de manantiales fríos y termales de la zona de estudio, se mide su temperatura en la superficie y a partir de su composición química se infiere la temperatura probable que existe en el fondo del sistema hidrotermal. Una campaña de estudios geofísicos podría mejorar la información sobre el yacimiento, aportando conocimientos sobre la profundidad de los fluidos termales, las posibles zonas de recarga y descarga del yacimiento, así como la existencia de fallas que no fueran visibles en la superficie. La conjunción de estos estudios geocientíficos permite la localización de las zonas con las mejores posibilidades de contener fluidos termales en cantidades suficientes y con la temperatura apropiada para formar un yacimiento geotérmico. Esta información, producto de la interacción multidisciplinaria, apoya finalmente la decisión de perforar uno o más pozos exploratorios de diámetro pequeño, que a su vez contribuirán con información más detallada sobre las condiciones geológicas, geoquímicas y geofísicas imperantes en el subsuelo. Al ser estas perforaciones costosas (en promedio de un millón y medio de dólares americanos por pozo), los estudios multidisciplinarios iniciales constituyen la base de una buena exploración geotérmica y de la explotación exitosa de estos sistemas.

México es un país privilegiado por la naturaleza en este tipo de recursos y pionero en su utilización para la producción de electricidad. En 1956 se construyó el primer pozo con fines geotermoeléctricos de todo el Continente Americano en el pueblo de Pathé, Estado de Hidalgo, donde algunos años después se constituyó la tercera planta geotermoeléctrica puesta en operación en el mundo.

Hoy en día, México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en la producción de energía eléc-

CAPACIDAD TOTAL GEOTERMOELÉCTRICA INSTALADA



Figura 2. Capacidad geotermoeléctrica mundial actualmente instalada

trica a partir de estos recursos geoenergéticos (ver Figura 2). La capacidad geotermoeléctrica actualmente instalada en México es de 958 MW, la cual se ha alcanzado a través de las tareas de exploración y explotación que realiza la Comisión Federal de Electricidad en cuatro campos geotérmicos ubicados en los Estados de Baja California (Cerro Prieto y Tres Virgenes),

Michoacán (Los Azufres) y Puebla (Los Humeros); ver Figura 3. Sin embargo, es importante señalar que se tiene detectado un enorme potencial geotérmico aún por explorarse y explotarse, al disponer grandes regiones de vulcanismo reciente y activo, principalmente en el centro de nuestro país, en la zona conocida como "Cinturón Volcánico Mexicano".

No obstante la disposición de este gran potencial, México produce alrededor del 3% del total de nuestras necesidades de energía eléctrica haciendo uso de estos recursos geoenergéticos.

El dominio de la tecnología para aprovechar los recursos confinados en los sistemas geotérmicos hidrotermales se ha alcanzado

exitosamente en la actualidad. Sin embargo, las nuevas generaciones de sistemas geotérmicos mejorados (o de "roca seca caliente" con una mayor disponibilidad en la Tierra que los "sistemas hidrotermales") y las grandes necesidades energéticas del mundo, demandan más tareas de investigación para la generación de conocimiento científico nuevo y el desarrollo de nuevas tecnologías a ser aplicadas en el futuro aprovechamiento de estos sistemas. La descripción de esta nueva generación de sistemas geotérmicos mejorados será abordada en la segunda parte de esta nota periodística.

Es precisamente dentro de esta gamma de estudios y especialidades, donde el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, a través de la Coordinación de Geoenergía, ha logrado encaminar estudios científicos multidisciplinarios para el desarrollo de nuevas herramientas mejoradas que buscan aprovechar al máximo los recursos confinados en estos sistemas geoenergéticos.

Nota: En su mayor 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. Mapa con la ubicación de los campos geotérmicos mexicanos, su capacidad total instalada y la ubicación del Cinturón Volcánico Mexicano.