

# RESILIENCIA DE LA GEOTERMIA EN MÉXICO *para el aprovechamiento de yacimientos de media a baja entalpía*

Autora: Leticia García Pérez



En México, la segunda energía con menos impacto al medio ambiente y de crecimiento es la Energía Geotérmica, pero debemos preguntarnos: **¿Qué tecnología y políticas vamos a necesitar para impulsar su desarrollo?**

## De dónde proviene la energía Geotérmica

La geotermia estudia el calor de la Tierra; con los estudios sobre la dinámica de la Corteza Terrestre, se ha considerado y comprobado que nuestro planeta almacena en su interior una fabulosa reserva de energía calorífica prácticamente inagotable. Con esta fuente de calor, la energía geotérmica es utilizada actualmente en diversas partes del mundo para la generación de energía eléctrica y algunos usos directos como calefacción, acuicultura, secado de productos vegetales e invernaderos.

Este tipo de energía es una de las aportaciones geológicas más beneficiosa, en términos económicos, a la crisis energética. El crecimiento poblacional y las exigencias del uso de tecnologías en la vida diaria conllevan a actuar sobre las construcciones civiles a través de nuevos sistemas alternativos de usos de energía para lograr su uso de forma más eficiente.

En México se encuentra una gran variedad de recursos geotérmicos debido a su naturaleza volcánica y la amplia distribución de manifestaciones termales, recursos que se pueden ocupar para la generación de electricidad; actualmente este tipo de energía tiene muy alto potencial, ofrece ventajas económicas y ambientales sobre las tecnologías tradicionales.

Este tipo de sistemas energéticos ha despertado el interés de numerosos investigadores alrededor del mundo en estos últimos años, sean generados tecnologías para el aprovechamiento de la energía geotérmica de media entalpía (150°C a 100°C) para la generación de electricidad, como es el caso del Sistema de generación eléctrica con ciclo binario modificado, como para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos de baja entalpía (30°C a 90 °C).

En este artículo se plantea el importante desafío de estudiar sistemas alternativos de tecnologías de generación de energía, que puedan aprovechar la energía geotérmica de media a baja entalpía y que puedan ser aplicados en México, con el fin de generar soluciones sustentables a las necesidades primarias de la sociedad; calefacción, generación de energía eléctrica limpia y obtención de alimentos no perecederos.

La energía geotérmica tiene una larga historia en México cuenta con grandes antecedentes de producción, el campo geotérmico de Pathé en Hidalgo fue la primera planta de energía geotérmica en el Continente Americano; comenzó a operar en 1959, un año antes que la primera planta de este tipo en los Estados Unidos.

Debido a sus condiciones geológicas, México tiene las condiciones para convertirse en un importante productor de energía geotérmica.

La producción de energía anual actual es de poco más de 963 MW (ThinkGeoEnergy, 2020), pero el potencial llega a los 10 mil MW (CEMIGEO, 2021).

México es actualmente el sexto productor de energía geotérmica, y somos el que más produce en América Latina, sin embargo lamentablemente, debido a la crisis energética del país, se han cancelado licitaciones internacionales para construir centrales en Puebla y Baja California.

Los beneficios que brinda la energía térmica presente en el interior de la tierra se transmiten a la superficie por medio de rocas o fluidos a través de sus capas internas; este gradiente de temperatura que fluye hacia afuera del subsuelo se denomina recursos geotérmicos (Figura 1), y en algunos casos, puede ser observado en manifestaciones geotérmicas, incluidos manantiales, géiseres y volcanes de lodo, que los humanos han utilizado y convertido en energía eléctrica (George, 2012).

Las reservas geotérmicas oscilan entre los 15 °C en la superficie y los 4000 °C en el núcleo. De hecho, la corteza terrestre constituye una extensa reserva de recursos geotérmicos. En cualquier punto de la superficie del mundo, el calor se almacena en el subsuelo a varios metros de profundidad. El calor de la capa se extrae mediante agua geotérmica, similar a las que se emplean en la industria del petróleo

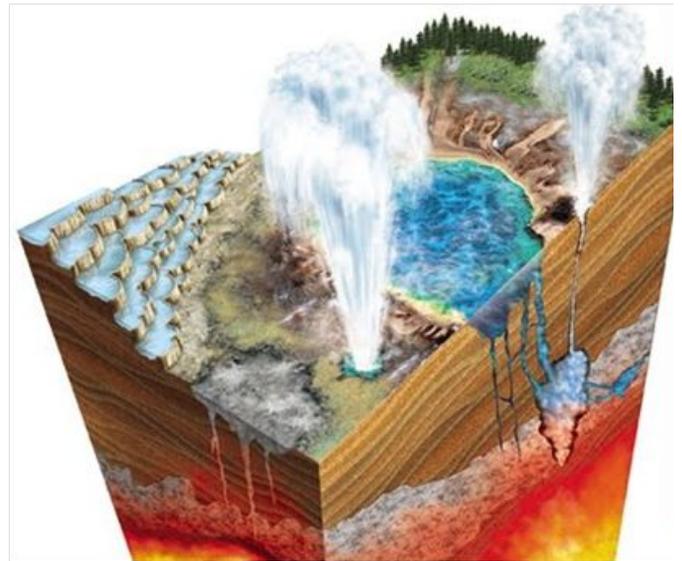


Figura 1. Esquema de un yacimiento geotérmico ideal (Fuente:Ruiz Gonzalo, 2020)

Así pues, se establecen las cuatro categorías siguientes para la energía geotérmica:

- Alta entalpía más de 150 °C: Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
- Media entalpía entre 90 y 150 °C: Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.
- Baja entalpía entre 30 y 90 °C: Su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.
- Muy baja entalpía menos de 30 °C: Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

## Según la temperatura, se puede utilizar para producir energía eléctrica o para otros usos

Los sistemas de alta entalpía se pueden localizar en zonas de alta actividad volcánica, la utilización de estos recursos geotérmicos, como fuente de energía primaria para la generación de electricidad se presentan cuando la temperatura del fluido es alta o muy alta (mayor a 150 °C).

A estas temperaturas la producción de electricidad es idónea, pero las condiciones para obtener dicho nivel de temperatura son difíciles de obtener debido que sólo existen en las zonas de más actividad volcánicas de la Tierra.

Por otro lado con los recursos de media entalpía (90 - 150 °C) se pueden generar electricidad (con la tecnología adecuada) y para aplicaciones industriales, mientras que la baja entalpía (30 - 90 °C), se usa principalmente para la calefacción de espacios y otros usos directos.

Muchos países han visto el enorme potencial de los recursos geotérmicos y el aprovechamiento de esta energía renovable. Actualmente los mayores productores de energía geotérmica son los Estados Unidos, Indonesia, Filipinas.

### Un caso muy interesante es el de Kenia quien aumentó su producción de energía geotérmica en el 2020 un 40%.

Otro caso representativo es el de Islandia quién el 85% de su energía proviene de la geotermia, debido a su gran actividad volcánica ha aprovechado este beneficio y además de la energía eléctrica que produce, aprovecha el gradiente geotérmico de su subsuelo y lo ocupan para muchos fines como la calefacción en hogares, la acuicultura y la industria.

## Sistemas geotérmicos de baja a media entalpía en México

México cuenta con un gran potencial para el desarrollo de centrales de energía geotérmica y en particular, hay una mayor capacidad para el aprovechamiento de las zonas de media entalpía. La energía geotérmica de media a baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 20 y 200 m de profundidad, a lo largo de todo el año.

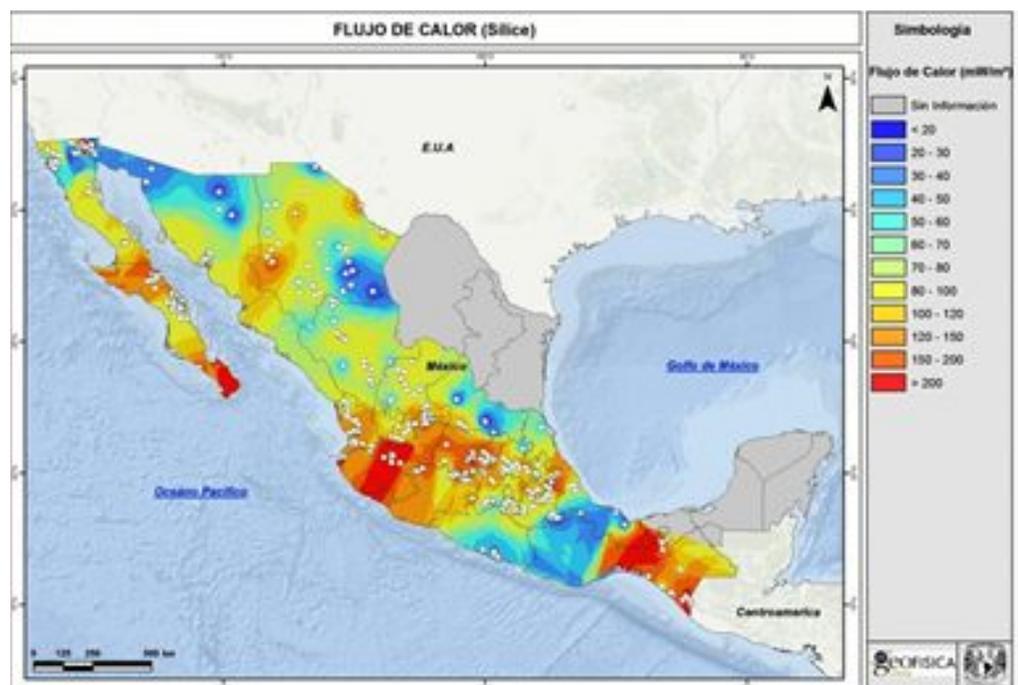
El dominio de media a alta intensidad, caracterizado por temperaturas del agua a 1 km de profundidad inferiores a 150 °C, se ubica fundamentalmente sobre el Cinturón Volcánico Mexicano, Chiapas y en la península de Baja California (Figura 2), de acuerdo con el mapa de Flujo de Calor generado por el Instituto de Geofísica-UNAM, sobre esta zona existe un potencial de flujo de calor entre 200 a 100 mW/m<sup>2</sup>, mientras que el resto del país presenta un enorme potencial en el aprovechamiento de baja a muy baja intensidad de flujo de calor entre 90 a 20 mW/m<sup>2</sup>; dicho flujo puede ser empleado en aplicaciones industriales, piscinas termales o calefacción en los hogares.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja a media entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 100 °C e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de vapor de agua para activar un sistema de turbinas cuya producción representa un 25% de su consumo eléctrico (con rango entre 47 a 120 megavatios - MW-), junto a otras fuentes energéticas.

Figura 2. Mapas de gradiente geotérmico y flujo de calor para la República Mexicana.

Fuente:Fuente:

<http://www.proyectofose.mx/2017/05/29/desarrollan-mapa-zonas-geotermicas-mexico>



# Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos de Media a Baja entalpía en México.

Para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos de media a baja entalpía diversas instituciones como Comisión Federal de Electricidad, UNAM, Universidad de San Nicolás de Hidalgo en Michoacán y el CICESE han realizado diversos proyectos.

Cuando la temperatura del fluido geotérmico es menor a 150 °C, resulta complicado (aunque no imposible) construir una planta que genere electricidad de forma eficiente, para fluidos de baja entalpía o temperaturas bajas, es improbable que los pozos fluyan de manera espontánea, y en caso de que, si fluya, existe mucha probabilidad de que se produzca depósito de minerales de calcita en los mismos.

En las zonas geotérmicas de Cerro Prieto en Baja California, Las Tres Vírgenes en Baja California Sur, Los Azufres, Michoacán, los Humeros en Puebla y Maguarichi, Chihuahua, ya se han instalado Centrales de Ciclo Binario.

Hay que mencionar que en Maguarichi se instaló una Central de este tipo aislada de la red eléctrica nacional, la cual generó energía eléctrica para abastecer la demanda de 600 personas en dicho poblado, siendo el primer proyecto geotérmico privado de la red en México; lamentablemente algunas de estas plantas instaladas no están en operación actualmente.

*La energía geotérmica de baja entalpía en México tiene un potencial probable de generación de 200 MW, instalando plantas pequeñas de generación.*

Por otro lado, se han impulsado otro tipo de proyectos que se pueden beneficiar de la energía geotérmica, aplicados a la industria, agricultura, pesca y calefacción de interiores, entre otras. Entre estos hay que destacar los proyectos para deshidratar alimentos en Sinaloa y en Baja California, los cuales utilizan el recurso geotérmico de baja a media entalpía.

El desarrollo de proyectos para aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía en territorio mexicano, evita la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y está disponible 24 horas del día

Otros proyectos impulsados por la UNAM son los siguientes: Instalación de un deshidratador de fruta a escala piloto que funciona con energía geotérmica, una desaladora modular geotérmica desarrollada por el grupo iiDEA que emplea procesos por medio de intercambiadores de calor, donde el agua de mar se evapora y condensa hasta convertirse en recurso potable, además proyectos como bombas de calor geotérmicas para localidades de México, fabricación de leche en polvo con el aprovechamiento de la geotermia e invernadero geotérmico de baja entalpía.

Otras universidades han desarrollados también proyectos interesantes en el aprovechamiento de la energía geotérmica como la Universidad Politécnica de Baja California (UPBC) quienes desarrollaron un sistema para climatizar invernaderos de pepino y tomate por medio de energía geotérmica.

En Baja California las temperaturas son extremas, tanto en verano como en invierno, por lo tanto la climatización de invernaderos es una estrategia muy interesante de los productores para evitar que las cosechas se pierdan.

*Más de 20 estados de la República Mexicana presentan actividad geotérmica de Baja Entalpía, que se genera por deslizamiento de placas tectónicas y vulcanismo*



Figura 3. Deshidratador Geotérmico de Alimentos, DGA 200 (Fuente:DGA,2021)

Se han desarrollado proyectos piloto para el aprovechamiento de los recursos de baja entalpia, en los campos geotérmicos de Cerro Prieto, Los Azufres y Los Humeros, destacando el proyecto de secado de madera, un deshidratador de vegetales y fruta, un invernadero y un sistema de calentamiento de las oficinas y las instalaciones en este campo.

Entre los proyectos relevantes se encuentra la Instalación de un vivero experimental en el campo geotérmico de Los Azufres con calentamiento geotérmico que ha demostrado la factibilidad técnica y económica, in situ, de este sistema.

Otro proyecto interesante es El sistema Deshidratador Geotérmico de Alimentos, DGA 200 de Geo Food, el cual se ubica en San Pedro Lagunillas, en Nayarit, México; en donde se aprovechan los remanentes energéticos de la geotermoeléctrica que administra Grupo Dragón (Figura 3).

Para la generación de electricidad a través de estos recursos, la tecnología desarrollada son las Centrales de Ciclo Binario, las cuales generan electricidad a partir de fluidos de temperatura entre 80 y 180 °C o en sistemas geotérmicos mejorados. Las Centrales de Ciclo Binario utilizan un fluido que tiene un bajo punto de ebullición y una alta presión de vapor a bajas temperaturas, en comparación con el vapor de agua, un ejemplo de este tipo de plantas las tenemos en Cerro Prieto, en Mexicali (Figura 4).

Cabe mencionar que también existen otros tipos de tecnologías para el aprovechamiento de estos recursos como lo son las Plantas Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash (PWG por sus siglas en Ingles "Pressure Water Generation") y las Planta Híbrida Geotérmica-Hidráulica, Solar o Eólica.

## *Planta Geotérmica de Ciclo Binario en Cerro Prieto, demuestra el gran potencial en países como México.*



Figura 4. Planta Geotérmica de Ciclo Binario en Cerro Prieto, Mexicali (Fuente: CFE,2021).

Las plantas de Ciclo Binario, utilizan un depósito de agua con temperaturas entre 100 y 180°C. En este tipo de sistema, el agua geotérmica pasa por un intercambiador de calor, donde el calor se transfiere a un segundo líquido que tiene un punto de ebullición inferior al del agua (isobutano o pentano). Cuando el líquido binario se calienta, el vapor hace mover la turbina; al salir de la turbina el vapor es condensado y reutilizado en un circuito cerrado.

En este tipo de sistemas no hay emisiones contaminantes al aire.



El tamaño de la central geotérmica depende de las características del yacimiento geotérmico y de la cantidad de vapor que se pueda extraer de él, es decir, depende también del número de pozos productores que puedan aportar vapor a la turbina del generador, pueden variar desde 0,5 hasta 10 MW.

Hoy en día este tipo de centrales geotérmicas son las que tiene una mayor cantidad de unidades en funcionamiento, un ejemplo de este tipo es la Central de Ciclo Binario 5 MW, en Los Azufres, Michoacán México (Figura 5).

### **Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash (PWG)**

Una central de Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash es una modificación a un ciclo binario convencional, que garantiza un adecuado aprovechamiento de la energía geotérmica de media a baja entalpia.

Una central de Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash puede operar en condiciones de saturación requiriendo una menor cantidad de energía; para obtener el vapor que impulsará la turbina, el líquido saturado se hace pasar por el dispositivo de estrangulamiento provocando una evaporación flash o instantánea (Figura 6). Finalmente, la mezcla obtenida es separada en el tercer dispositivo propuesto (el separador de flujo bifásico).

*La principal ventaja que presenta es que, al emplear un intercambiador de calor de placas, la eficiencia en la generación de vapor se incrementa ya que este tipo de*

equipos permiten acercamientos de hasta 1°C entre los fluidos; sus pérdidas son bajas, lo cual es sumamente importante en el aprovechamiento de la energía geotérmica, el espacio ocupado por estos intercambiadores es menor y su mantenimiento es más sencillo comparado con los de carcasa y tubos.

El Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash es capaz de aprovechar los recursos de menor temperatura y mantener un menor volumen de trabajo.

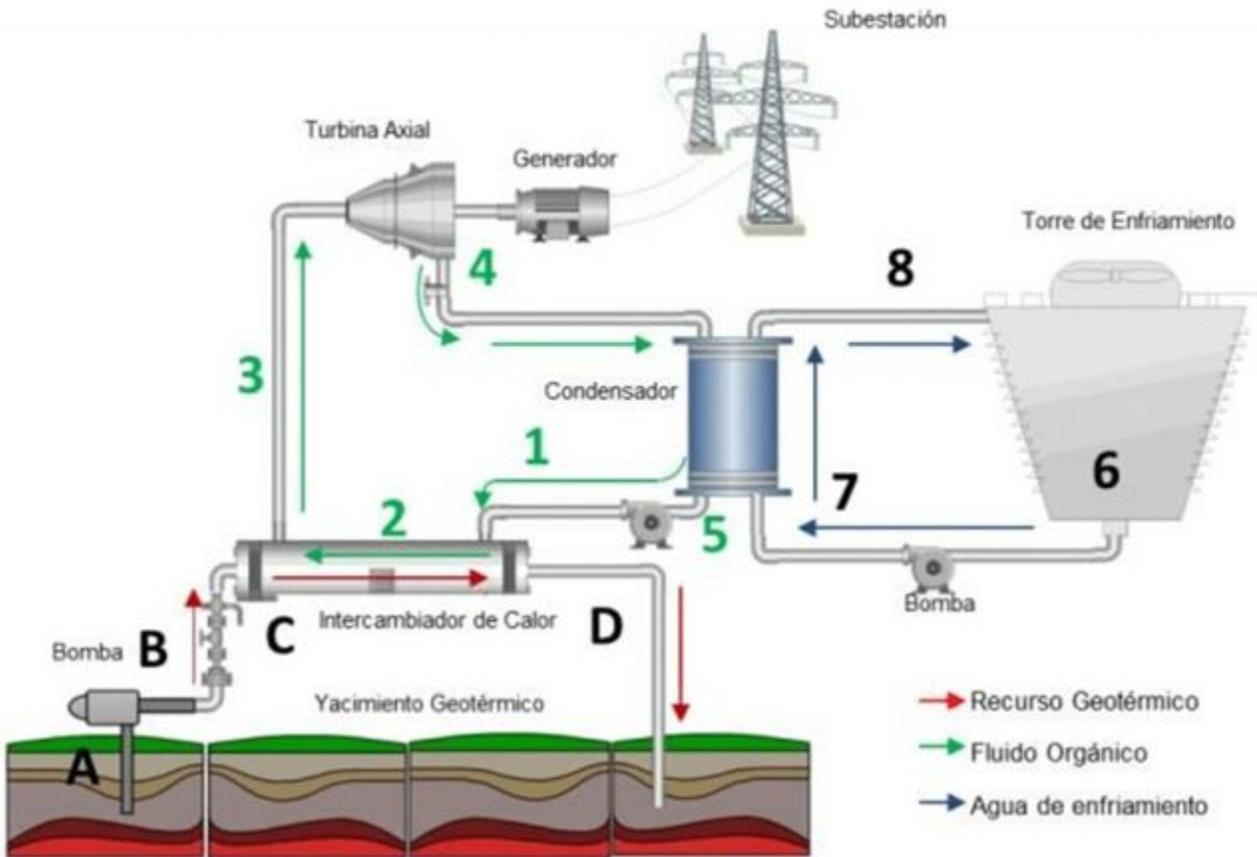


Figura 6. Esquema de una central de ciclo binario modificado con una evaporación flash (Fuente: Jiménez Héctor, 2013)

## Planta Híbrida Geotérmica-Hidráulica, Solar o Eólica

Los sistemas de energía híbrida son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión; aunque la suma de las potencias de los módulos de generación híbrida sea superior a la capacidad de evacuación, la energía vertida nunca puede sobrepasar este límite (Figura 7).

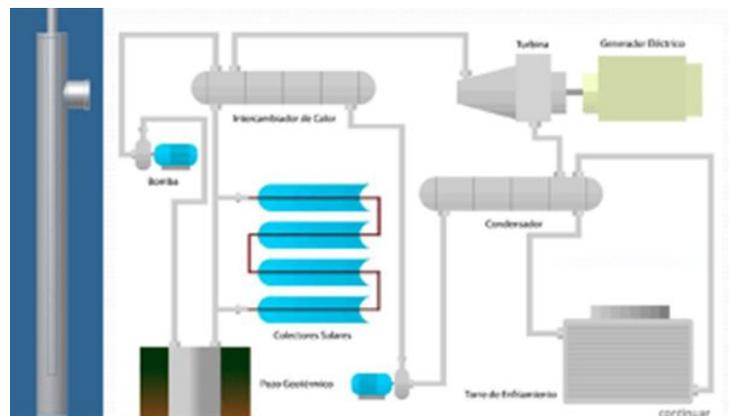


Figura 7. Esquema de un sistema de energía híbrida Geotermia-Solar (Instituto de Ingeniería, UNAM 2021)

## Las plantas híbridas Geotérmicas, mejoran de la capacidad de financiación de la geotérmica y rendimiento



Figura 8. Proyecto para generar electricidad a través de sistema Geotérmico-Solar, en Michoacán (Fuente:Rubio Carlos, 2013)

De este modo, una planta de generación híbrida puede servirse, por ejemplo, de la energía fotovoltaica cuando brilla el sol y la energía geotérmica, garantizando así un suministro más estable y eficiente; una instalación híbrida puede contar o no con sistemas de almacenamiento.

El objetivo del modelo Híbrido Geotérmico-Solar es maximizar el potencial de aprovechamiento de los yacimientos geotérmicos de media a baja entalpía hacia la generación de energía eléctrica de manera eficiente y no contaminante; donde combina la energía geotérmica de media entalpía en su planta geotérmica de ciclo binaria con energía solar en el mismo lugar.

*De igual forma se puede generar energía eléctrica combinando energía geotérmica con energía eólica o hidráulica, o alguna otra energía renovable.*

En México se han desarrollado proyectos para generar electricidad con sistemas de energía híbrida Geotérmico- Solar en Zinapecuaro, Michoacán (Figura 8), por parte del proyecto de la empresa Green-er y CONACYT.

### Conclusión

La energía geotérmica es una de las energías renovables a nivel mundial que ha sido señalada como una de las más interesantes para generar energía con bajo impacto ambiental. Los recursos geotérmicos en México han sido utilizados para generar electricidad y algunos otros usos directos. Debido a las condiciones geológicas, el país cuenta con una gran cantidad de manifestaciones termales que pueden ser aprovechadas para beneficio de la sociedad. En distintos estados de la República mexicana se cuenta con el recurso necesario para implementar proyectos para el aprovechamiento del calor interno de la Tierra.

El uso de los sistemas de media entalpía resulta altamente atractivo, debido a potencial que tienen para generar electricidad, además de que se pueden hacer usos industriales y domésticos. La geotermia es una de las energías que más pueden aportar a la matriz energética de manera sustentable, su uso tiene un bajo impacto ambiental y se cuenta con distintos lugares para su aprovechamiento.

A pesar de las amplias investigaciones que se tienen en el territorio mexicano, sigue siendo un desafío importante implementar de mejor manera el aprovechamiento de los recursos geotérmicos, por lo que se debería invertir en más proyectos que aporten de manera significativa a la generación de energía del país. México sigue siendo uno de los 10 países que más generan energía a partir de la geotermia, por lo cual se debe impulsar su desarrollo para complementar la matriz energética del país

### Bibliografía

- Aviña Jiménez Héctor. "Comparativa de rendimiento energético entre un ciclo binario y un modificado, con geotermia de baja entalpía". Congreso internacional anual de la SOMIM. 2013, Vol. 1, p. 2-9.
- Cacho Yureli. "Estado de la Energía Geotermia en México". Petroquimex. 2020, Vol. 1, p. 3-12.
- Cárcamo Alfredo. "Diseño conceptual de un sistema híbrido integrado de simple flash-binario para una planta geotérmica". Salvador: Universidad del Salvador. 2016, p. 20-30
- Cárcel Francisco. "La Energía Geotérmica de baja entalpía". 3C Tecnología. 2015. Vol. 4, p. 98-107.
- CeMIEGeo. "Geotermia en México". 2021. Sitio web: <http://www.cemiegeo.org/index.php/geotermia-en-mexico>.
- Gehringer Magnus. "Manual de geotermia: cómo planificar y financiar la generación de electricidad". Washington D.C, EE. UU.: ESMAP. 2012.
- GeoFood. "Nuestro sistema deshidratador geotérmico de alimentos". 2021, de Geofood Sitio web: <https://geofood.mx/nuestro-sistema-deshidratador-geotermico-de-alimentos/>.
- Hirriart Le Bert. evaluación de la energía geotérmica en México". CRE.IDB.
- Instituto de Ingeniería-UNAM. "Ciclo Binario de Evaporación Instantánea (CBEI)". de UNAM. 2021. Sitio web: [http://proyectos2.iingen.unam.mx/IIDEA/ciclo\\_binario.html](http://proyectos2.iingen.unam.mx/IIDEA/ciclo_binario.html).
- Martínez David. "La energía geotérmica de baja entalpía". 3C Tecnología. 2015. Vol. 15, p. 96-108.
- Martínez Juárez. "Factibilidad de aprovechar la geotermia", de UNAM. 2019. Vol. 1, p. 10-19.
- Robilliard Claudine. "Generación de electricidad a partir de energía geotérmica". Ingeniería Industrial. 2009, Vol. 27, p. 185-205.
- Rubio Carlos. "Planta híbrida geotérmico-solar: Una forma de maximizar el aprovechamiento de los recursos renovables". ANES. 2013, Vol. 1, p. 3-30