



Geotermia y su exploración en Colombia

En un contexto de crisis climática y transición energética, el aprovechamiento del calor natural del interior de la Tierra, especialmente de aquel que surge en zonas de volcanes activos e inactivos, es una de las alternativas con menor impacto ambiental para generar energía eléctrica. Desde el Servicio Geológico Colombiano (SGC) desarrollamos proyectos de investigación que nos permiten identificar zonas de acumulación de calor, permeabilidad y disponibilidad de fluidos en el subsuelo del país y así adquirir el conocimiento necesario para su aprovechamiento. Aquí respondemos las preguntas más frecuentes al respecto.

¿Qué es la geotermia?

La palabra geotermia proviene de las raíces griegas geo (tierra) y thermos (calor). Se define como el estudio del calor natural del interior de la Tierra. Es utilizada para referirse tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos en el interior del planeta, como a los procesos tecnológicos e industriales encaminados a la exploración y desarrollo de dicho recurso, el calor.

El calor de la Tierra o calor geotérmico se produce de forma natural por el movimiento interno del planeta y por procesos de desintegración de elementos químicos preexistentes que, posteriormente, se convierten en unos nuevos y que, en ese proceso, liberan energía en forma de calor.

Desde hace más de 40 años, las áreas aledañas al volcán Nevado del Ruiz han sido objeto de estudio con ánimos de investigar y desarrollar la geotermia en el país.



Foto: Servicio Geológico Colombiano.

¿Qué es la energía geotérmica?

Es la energía que se obtiene del calor natural de la Tierra. Tiene aplicaciones como la generación de energía eléctrica por medio del aprovechamiento de vapores y líquidos alojados al interior del planeta y que, extraídos a alta presión y temperatura, tienen la capacidad de mover una turbina que genera electricidad. La energía geotérmica también puede usarse en diversos procesos domésticos e industriales haciendo un uso directo del calor.

Precipitación de minerales que provienen de los fluidos geotérmicos en inmediaciones del volcán Cerro Machín (Tolima).

¿Por qué es importante estudiar las zonas de acumulación de calor en la Tierra?

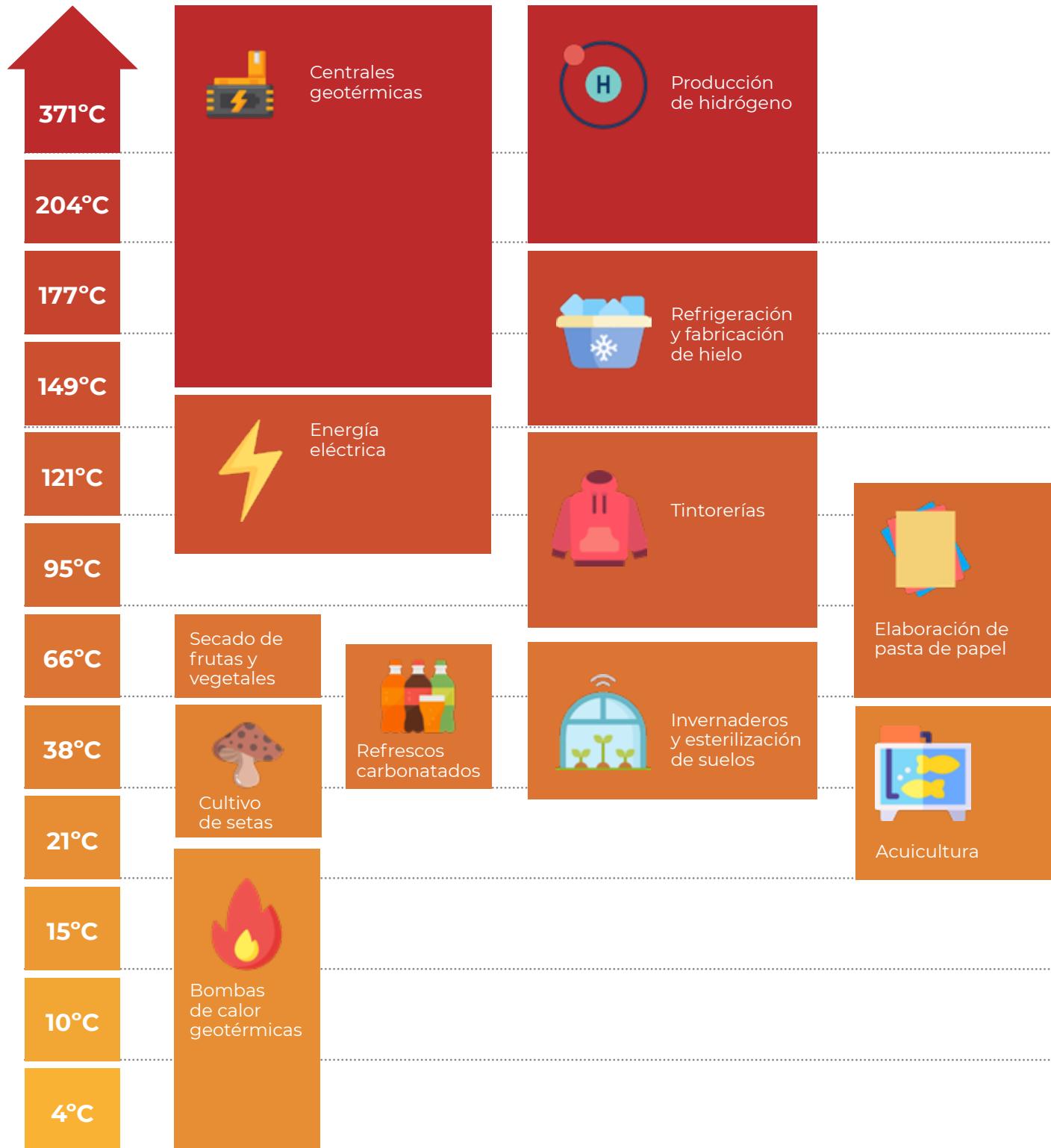
El cambio climático, el aumento de la población y el decaimiento de las reservas de algunas fuentes energéticas, entre otras problemáticas mundiales, han demostrado la necesidad de migrar a energías con menor impacto ambiental. En ese sentido, identificar las zonas de acumulación de calor en el planeta, comprender su funcionamiento y desarrollar proyectos de aprovechamiento, es una oportunidad para hacer una transición energética justa y sostenible en términos ambientales y de durabilidad.



Foto: Jesús Bernardo Rueda Gutiérrez - Servicio Geológico Colombiano.

¿Cómo se puede aprovechar la geotermia?

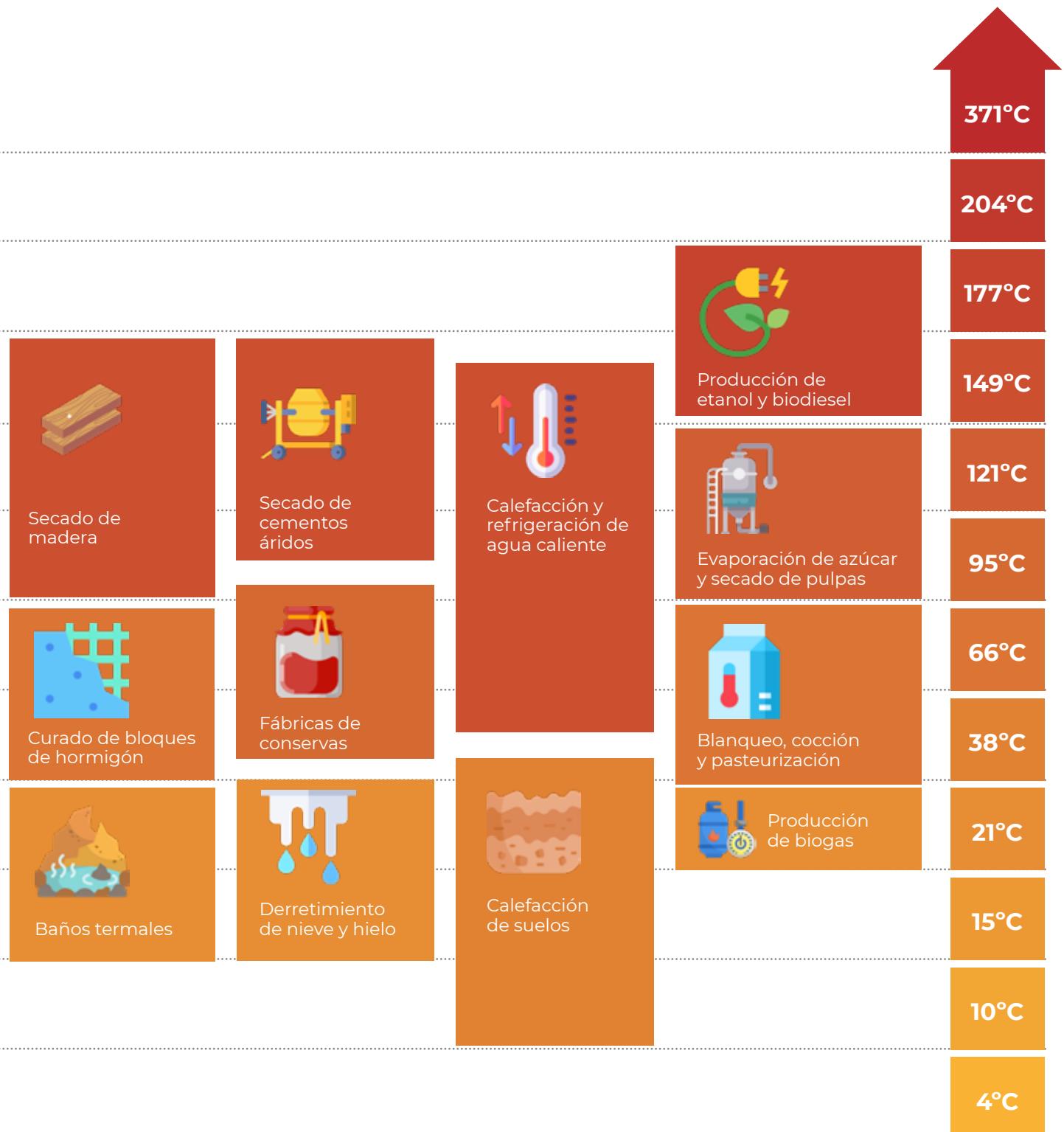
La energía geotérmica es una fuente de energía con alto potencial de aprovechamiento, dependiendo de la



temperatura del recurso. En términos generales, los recursos geotérmicos asociados comúnmente a sistemas

volcánicos (activos o inactivos) se usan principalmente para la generación eléctrica, mientras que los que tienen temperaturas más bajas se usan para la

calefacción y refrigeración de espacios y para el secado de vegetales, frutas, pastos y maderas. Algunos ejemplos de las aplicaciones de la geotermia son:





Manifestación superficial del calor interno de la Tierra en forma de vapor, en la parte baja del volcán Nevado del Ruiz (Villamaría, Caldas).

Foto: Jesús Bernardo Rueda Gutiérrez -
Servicio Geológico Colombiano.

¿Qué ventajas tiene la geotermia frente a los demás tipos de energía (renovables y no renovables)?

Debido a que la energía geotérmica proviene del subsuelo, no está condicionada a factores ambientales como el sol (temperatura en la superficie), el aire, las temporadas de lluvias o las sequías (aunque estos factores podrían incidir en la recarga profunda de los reservorios), algo que sí ocurre con los demás tipos de energía renovable como la hidroeléctrica, la solar y la eólica. Adicionalmente, en la geotermia, para extraer el recurso se hace un escaso uso del suelo respecto a la energía producida dependiendo del tipo de tecnología aplicada: entre 5 y 8 kilómetros cuadrados (km^2)/100 megavatios(MW)/hora(h)^{a,b} en comparación con una planta solar térmica, en donde para producir 47 MW se requieren aproximadamente 28 kilómetros cuadrados, y en una planta solar fotovoltaica en donde la relación es de 60 km^2 /10 MW^b.

De otro lado, frente a las energías no renovables, la geotermia tiene varias ventajas:

- 1.** La generación de todo tipo de emisiones y material particulado es menor:
 - Mientras que en la geotermia se generan de 0 a 0.03 toneladas (t) de dióxido de carbono(CO_2)/Megavatios-hora (MWh), las plantas de carbón generan 0.99 t de CO_2 /MWh; las de petróleo, 0.70 t de CO_2 /MWh; y las de gas natural, 0.55 t de CO_2 /MWh.^c
 - Mientras que en la geotermia se generan de 0 a 0.35 libras (lbs) de dióxido de azufre (SO_2)/MWh, las plantas con car-

bón liberan 10.391 lbs de SO_2 /MWh, y las de gas natural, 0.22 lbs de SO_2 /MWh.^c

- Mientras que en la geotermia no se generan emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), las plantas con carbón liberan 4.31 lbs de NOx/MWh, y las de gas natural, 2.96 lbs de NOx/MWh.^c
 - Mientras que en la geotermia, según el tipo de planta, las emisiones de material particulado, son casi nulas, las plantas a carbón producen 2.23 lbs de material particulado/MWh y las de gas, 0.14 lbs de material particulado/MWh.^c
- 2.** El agua que se requiere es poca: mientras que en la geotermia se usan 5 galones/MWh, para la generación de energía mediante gas natural se requieren 362 galones/MWh.^d
 - 3.** El recurso hídrico que se extrae en este tipo de energía, en su mayoría, se reinyecta para su reutilización^d.
 - 4.** El calor remanente de los proyectos energéticos se puede utilizar en proyectos no energéticos como invernaderos, calefacción y secado de frutas, entre otros.

¿Qué porcentaje de la matriz energética del país podría ocupar la geotermia?

Con base en los estudios preliminares realizados desde la superficie (sin tener verificación directa en el subsuelo), solo en sistemas hidrotermales convectivos relacionados a zonas volcánicas y, partiendo

de un aproximado de la capacidad instalada para julio de 2023 (19.476 MW^e), en Colombia la geotermia podría representar aproximadamente el 5% (1170.20 MW^f) de la matriz energética (actualmente, la energía eólica representa menos del 1% y la energía solar, aproximadamente el 2%).



Foto: John Makario Londoño - Servicio Geológico Colombiano.

¿Cuál es la entidad pública encargada de estudiar los recursos geotérmicos del país?

El Servicio Geológico Colombiano (SGC), al ser una entidad de investigación que forma parte del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, adscrito al Ministerio de Minas y Energía, tiene a su cargo el estudio de los recursos geotérmicos.

El volcán Cerro Machín, ubicado en el departamento del Tolima, es uno de los sistemas geotérmicos hidrotermales que se han identificado en el país.

¿Qué son los sistemas geotérmicos?

Son elementos del subsuelo que albergan el calor natural de la Tierra y que, gracias al almacenamiento subterráneo de líquidos y/o gases, conforman zonas de acumulación de calor a distintas profundidades bajo nuestros pies (entre 1 y 3 km principalmente). Estos sistemas, que cuando tienen agua se denominan hidrotermales, tienen mayor energía cuando están relacionados con una fuente de calor magmática (de roca fundida) como la que hay en los volcanes. Los sistemas geotérmicos convencionales tienen cinco elementos principales:

- 1. Zonas de recarga:** superficies de suelos que, al ser altamente permeables, permiten la infiltración de aguas lluvias y su acumulación en sitios profundos llamados reservorios.
- 2. Fuente de calor:** puede ser un magma (roca fundida) o gases que, por sus altas temperaturas, funcionan como un fogón y calientan el agua de las profundidades. No se descartan masas rocosas que, sin estar fundidas, debido a su composición química siguen emitiendo calor en su proceso de enfriamiento.
- 3. Reservorio:** es la roca permeable, porosa y fracturada en la que se almacena, circula y calienta el agua. Este facilita el transporte de gases.
- 4. Capa sello:** esta zona funciona como la tapa de una olla, pues dificulta la salida

del agua, los gases y el calor hacia afuera del reservorio. La capa está conformada por rocas de baja permeabilidad.

- 5. Zonas de descarga:** áreas en las que se acumulan el agua y los gases liberados por el sistema hidrotermal desde el reservorio. Se manifiestan de distintas maneras, entre ellas, en manantiales termales, fumarolas y suelos calientes con vapor.

¿Hay sistemas geotérmicos identificados en Colombia?

Los recursos geotérmicos existen en cualquier lugar del planeta: si se hace un agujero en el subsuelo, no importa el lugar, las temperaturas tienden a aumentar entre 25 y 30 °C por kilómetro (gradiente geotérmico¹ normal).

Nuestro país, al ser parte del Cinturón de Fuego del Pacífico (una zona de muy alta actividad volcánica y sísmica en la periferia del Océano Pacífico), tiene una actividad volcánica que promueve la formación de sistemas geotérmicos de alta temperatura.

Adicionalmente, las cuencas sedimentarias del país (hundimientos de la corteza terrestre que crean espacios donde se acumulan sedimentos) también representan zonas con anomalías de calor (aunque de menor temperatura) relacionadas con mecanismos de transferencia de temperatura por conducción.

1. Variaciones de la temperatura del suelo de acuerdo con la profundidad.

— Colombia tiene una actividad volcánica que promueve la formación de sistemas geotérmicos de alta temperatura.

¿En qué zonas de Colombia se encuentran este tipo de recursos?

En las tres cordilleras se han identificado sistemas geotérmicos hidrotermales (con agua caliente), como el de Paipa (Boyacá); Maar de San Diego, El Escondido de Florencia y Cerro Bravo (Tolima); Nevado del Ruiz (Caldas y Tolima); Paramillo de Santa Rosa (Risaralda); Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Cerro Machín (Tolima); Nevado del Huila (Huila, Tolima y Cauca); Puracé —Cadena de volcanes de los Coconucos— y Sotará (Cauca); Doña Juana, Galeras, Azufral, Cumbal y complejo volcánico Chiles–Cerro Negro (Nariño); y Sibundoy (Putumayo).

Un ejemplo para destacar es el del sistema geotérmico de Paipa, donde el SGC ha hecho esfuerzos de investigación importantes que han resultado en la elaboración de mapas geológicos; estudios de composición de las aguas y gases de los manantiales termales; y estudios geofísicos para deducir condiciones de las rocas y fluidos calientes que están bajo la superficie. Gracias a estos estudios también fue posible elaborar un modelo geológico que integra información geológica y geofísica, e interpretar el

sistema a partir de los resultados de todos los demás estudios realizados. Además de Paipa, el SGC ha participado en la investigación de los sistemas geotérmicos de los volcanes Azufral, Cerro Machín, San Diego, Nevado del Ruiz y Paramillo de Santa Rosa.

¿Todos los sistemas geotérmicos de agua caliente y todos los manantiales termales están relacionados con volcanes?

No. Las placas tectónicas, que son los fragmentos en los que está dividida la corteza terrestre o capa exterior del planeta, y que en su mayoría presenta grandes espesores, permiten la infiltración del agua de lluvia a varios cientos de metros para su posterior calentamiento. Este proceso, en el que el calor es producto del incremento natural de la temperatura con la profundidad, y que es conocido como gradiente geotérmico, facilita el calentamiento de muchas de las aguas infiltradas que aprovechamos en el país y que no están asociadas a zonas volcánicas.

En Colombia tenemos manantiales termales no asociados con volcanes en la zona Caribe, los Llanos Orientales y los departamentos de Chocó, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander y Boyacá (diferentes a los de Paipa e Iza). Los reservorios de agua caliente que estos manantiales alimentan podrían tener temperaturas que oscilan entre 20°C hasta 74°C. Esta última temperatura se encuentra en el manantial de Paratebueno (Cundinamarca), zona del Piedemonte llanero.

¿Qué son las exploraciones geotérmicas?

Son investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas que permiten identificar, caracterizar y aprovechar los recursos geotérmicos. Con la exploración superficial se delimita la zona en la que puede existir el mayor potencial, mientras que con las perforaciones se detallan las características geológicas del subsuelo, se estima el gradiente geotérmico de la zona (variaciones de la temperatura del suelo de acuerdo con la profundidad) y se comprueba la existencia del recurso geotérmico.

Expertos del SGC comparten información sobre geotermia con habitantes de Paipa (Boyacá) en la zona de recarga del sistema geotérmico que allí existe.

¿Qué son las perforaciones de gradiente térmico?

Al contrario de la exploración superficial, que consiste en el desarrollo de estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos en la superficie y sin intervención del terreno, las perforaciones de gradiente térmico permiten la exploración y la caracterización del subsuelo de forma directa.

Estas perforaciones son de diámetro reducido y poca profundidad, y permiten determinar tanto las variaciones de la temperatura del suelo de acuerdo a la profun-



Foto: Servicio Geológico Colombiano.

didad, como las propiedades físicas de las paredes del agujero. También, recolectar muestras de roca o de agua para estudios posteriores.

Esta actividad debe cumplir con criterios técnicos, legales y ambientales para garantizar la salud y seguridad de las personas y del medio ambiente (especialmente de las aguas subterráneas).

¿El SGC hace este tipo de perforaciones?

Sí. Para la perforación se dispone un área de acuerdo con el tipo de agujero que se va a realizar. Esta área, llamada plataforma, es de aproximadamente 30x30 cm para el caso de perforaciones de gradiente geotérmico.



Máquina de perforación usada para realizar los agujeros de gradiente térmico y conocimiento geológico en el área geotérmica de Paipa (Boyacá).

¿Qué impacto ambiental tiene la exploración que el SGC hace en los sistemas geotérmicos?

La etapa de exploración superficial solo involucra caminar y llevar equipos livianos para hacer las mediciones geofísicas y geoquímicas, además de colectar muestras de roca. Luego de que se realiza la exploración superficial, se realizan las perforaciones someras (200 - 400 metros) para medir el gradiente geotérmico de forma directa. Si bien estas perforaciones de gradiente presentan una mayor intervención en el terreno, pues se hacen a varios metros entre la superficie y el subsuelo, los agujeros son ciegos, con la intención de medir la temperatura del subsuelo sin que esta se altere por la entrada de fluidos calientes o fríos. Adicionalmente, los residuos de la perforación (lodo y remoción de material) se retiran y alojan en lugares autorizados. Por ello, al finalizar los trabajos, el terreno queda tal y como estaba antes de este procedimiento.

¿Puede una exploración geotérmica contaminar las aguas subterráneas?

La exploración superficial, no. Esto se debe a que no involucra ningún tipo de intervención profunda en el subsuelo. Sin embargo, las exploraciones que tienen perforación podrían generar riesgos en caso de que no se hagan adecuadamente. Por esto es necesario cumplir con todos los criterios técnicos y ambientales para evitar, por ejemplo, la alteración de las aguas subterráneas al ser interceptadas por la perforación.

Para evitar la contaminación de las aguas subterráneas, se instala una tubería de acero, recubierta de cemento, que impide la interacción entre la roca y el recurso que se extrae.

¿Qué pasaría con un proyecto de geotermia si ocurre una erupción volcánica de gran magnitud?

No todos los proyectos están cerca de volcanes activos: muchos de ellos están en zonas en las que los registros en las rocas y el monitoreo con instrumentos de precisión indican que no existe actividad reciente. Por otro lado, los proyectos que se encuentran en zonas donde hay volcanes activos tienen en cuenta el conocimiento geocientífico disponible sobre la amenaza volcánica a la hora de ubicar la planta geotérmica.

¿Puede la exploración geotérmica motivar la erupción de un volcán activo?

No. Múltiples estudios y desarrollos geotérmicos se han realizado alrededor del mundo cerca a zonas de volcanes activos. Si bien las perforaciones profundas pueden llegar hasta los 3 kilómetros (incluso más para propósitos de investigación), por su diámetro y características no tienen la capacidad de perturbar la dinámica del volcán.

¿Qué riesgos hay en torno a la exploración y desarrollo de un sistema geotérmico?

El SGC se encarga de implementar proyectos de investigación para identificar y caracterizar el potencial geotérmico del país, mas no adelanta actividades de desarrollo de los recursos geotérmicos. Los estudios exploratorios y de investigación son superficiales y no generan mayor impacto que el tránsito de los investigadores en las zonas donde caminan y posicionan los equipos de medición.

Los riesgos que pueden desprenderse de la geotermia se dan en la etapa de desarrollo, bien sea por un inadecuado procedimiento o por la falta de conocimiento inicial del reservorio. Entre estos riesgos están, por ejemplo, alteraciones al paisaje debido a excavaciones relacionadas con perforaciones e instalación de la planta de energía; efectos por extracción y reinyección de fluidos, como hundimientos de terreno, modificación o pérdida de manifestaciones termales superficiales y, sismicidad inducida; contaminación térmica por la liberación de agua y vapores calientes; inadecuado vertimiento de las salmueras y sólidos disueltos en ellas; o posibles conflictos de tenencia de tierras, entre otras. Todo lo anterior ha tenido remediación en distintos proyectos geotérmicos, sumado a que los impactos generados son mínimos en comparación con los beneficios que resultan del aprovechamiento del recurso.

¿Qué sucede con la información que el SGC genera después de una exploración geotérmica?

Dicha información es divulgada y puesta a disposición del público en general. Todos los informes que hemos realizado del tema pueden ser consultados en el [Motor de Integración de Información Geocientífica del SGC](#), en el [Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales](#) y en el tablero interactivo que muestra el [potencial geotérmico de Colombia](#).

¿Cómo pueden las comunidades usar el conocimiento generado en las investigaciones sobre geotermia en el país?

El SGC promueve la apropiación del conocimiento de los recursos geotérmicos del país para distintos fines, entre ellos la definición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT), la identificación de potenciales áreas para la generación de energía eléctrica con recursos renovables y para el propio conocimiento del subsuelo de la Nación, y la formulación de proyectos de aprovechamiento térmico para calefacción, balneología y electricidad. Para la toma de decisiones al respecto, las comunidades y entes gubernamentales tienen a su disposición el resultado de los estudios realizados por el SGC, los cuales trazan la línea base de futuros proyectos de exploración, desarrollos y aprovechamientos del recurso geotérmico.

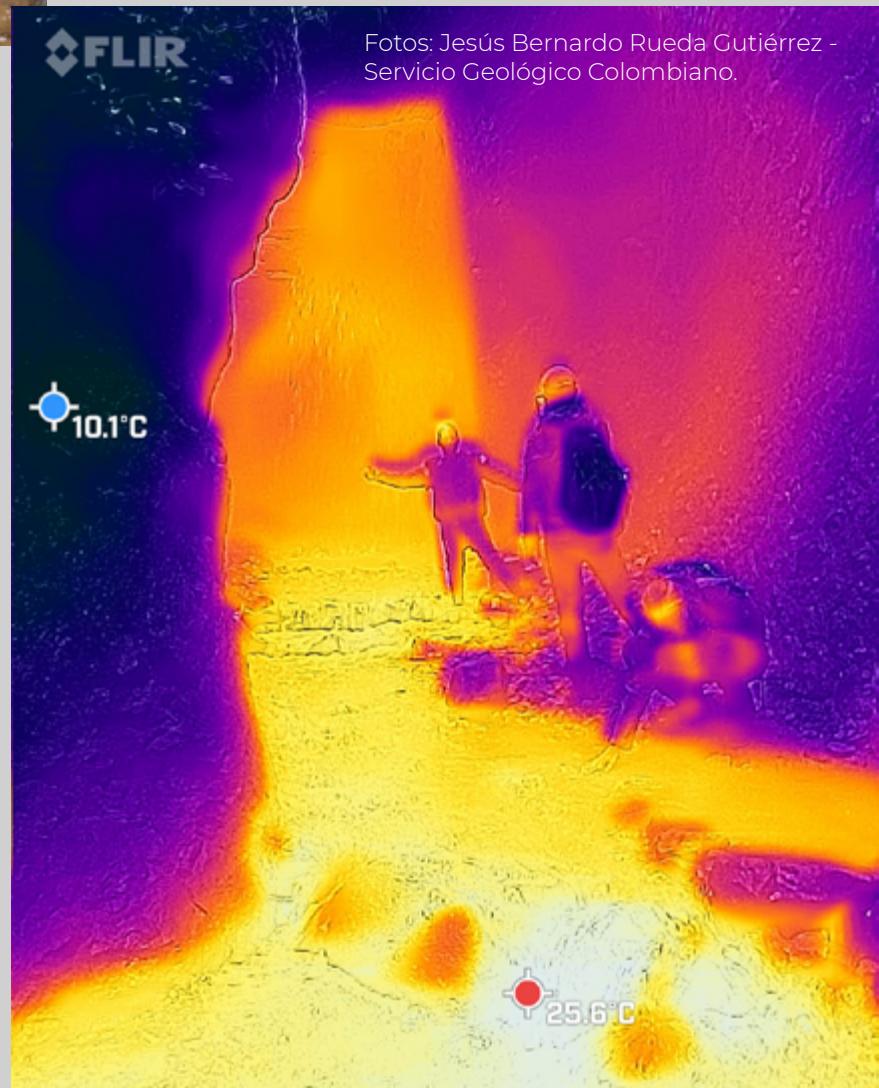
La fotografía con cámaras térmicas es una herramienta clave para la investigación en geotermia, pues permite conocer el calor emitido por las superficies, cuerpos y objetos. Arriba: imagen en espectro visible para el ojo humano; abajo: imagen térmica.



- d. Eylem Kaya, Sadiq J. Zarrouk, Michael J. O'Sullivan, Reinjection in geothermal fields: A review of worldwide experience, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, Volume 15, Issue 1, Pages 47-68, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.032>
- e. PARETEC. Parámetros técnicos del SIN. <https://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>
- f. C. Alfaro, J.B. Rueda-Gutiérrez, Y. Casallas, G. Rodríguez, J. Malo, Approach to the geothermal potential of Colombia, Geothermics, Volume 96, 2021, 102169, ISSN 0375-6505, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102169>.

Referencias:

- a. Manish Navriya, Piyush Agarwal, Jobin Thomas, Devendra Kumar Doda. Environmental Impact of Geothermal Power Plant. Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd), ISSN: 2456- 6470, Volume-3 | Issue-3, April 2019, pp.140-143, URL: <http://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd21663.pdf>
- b. Massachusetts Institute of Technology. 2006. The Future of Geothermal Energy. Idaho National Laboratory
- c. Alyssa Kagel, Diana Bates & Karl Gawell. 2005. A Guide to Geothermal Energy and the Environment. Geothermal Energy Association. 209 Pennsylvania Avenue SE, Washington, D.C.



Fotos: Jesús Bernardo Rueda Gutiérrez - Servicio Geológico Colombiano.



Solicitudes de medios con:

Mónica Jaramillo Arias
Gestora de comunicaciones
medios@sgc.gov.co
+57 312 504 7242