

**Avances de la Geotermia en Colombia para la Generación de Energía Eléctrica**

Elaborado por:

Roberto Carlos Montes Zuluaga

Universidad EAN

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Pregrado

Bogotá

21/11/2023

## Tabla de contenido

1. Palabras Clave .....	4
2. Problema de Investigación.....	5
3.1 Antecedentes del Problema. ....	5
3.2 Descripción del Problema .....	5
4 Objetivos .....	7
4.1 Objetivo General .....	7
4.2 Objetivos Específicos.....	7
5 Justificación. ....	8
6 Marco Teórico .....	9
6.1 Origen del Recurso Geotérmico.....	11
6.2 Sistemas geotérmicos.....	13
6.3 Desarrollo de la Geotermia en Colombia .....	16
6.4 Capacidad Instalada en el Mundo .....	22
6.5 Tecnologías de generación de energía eléctrica con Geotermía.....	25
6.6 Características ambientales de la tecnología Geotermia .....	28
6.6.1 Clasificación del recurso.....	29
6.6.2 Emisiones atmosféricas.....	31
6.6.3 Vertimientos líquidos y sólidos.....	32
6.6.4 Uso del terreno.....	33
6.7 Dificultades en la explotación del recurso Geotérmico para Generación de Energía en Colombia .....	34
7. Conclusiones .....	42
8. Lista de Referencias .....	44

## Tabla de figuras

<b>Figura 1. Esquema planta geotérmica de generación de energía. Fuente tomada de, (Ruíz, 2023).</b> .....	12
<b>Figura 2. Imagen de vapor de agua saliendo a alta presión. Fuente tomada de, (Ruíz, 2023).</b> .....	13
<b>Figura 3. Cinturón de fuego del pacífico. Fuente tomada de, (Marzolf, 2014).</b> .....	15
<b>Figura 4. Complejo Volcánico Chillles – Cerro Negro. Fuente tomada de (SGC, 2020)</b> .....	19
<b>Figura 5. . Cráter arenas. Volcán Nevado del Ruíz. Fuente tomada de, (SGC, 2020).</b> 20	
<b>Figura 6. Volcán Azufral. Fuente tomada de (SGC, 2020)</b> .....	21
<b>Figura 7. Mapa Preliminar de Gradientes Geotérmicos. Fuente tomada de (SGC, 2020)</b> .....	22
<b>Figura 8. Capacidad instalada generación Geotérmica mundial (2010). Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	23
<b>Figura 9. Capacidad instalada generación Geotérmica mundial (2010). Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	24
<b>Figura 10, Generación y aporte de Energía Geotérmica por país (2010). Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	25
<b>Figura 11. Esquema general de una planta tipo flash. Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	26
<b>Figura 12. Esquema general de una planta binaria. Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	27
<b>Figura 13. Estudio de caso de emisiones contaminantes, Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	32
<b>Figura 14. Áreas demandadas por diferentes tipos de generación, Fuente tomada de (Marzolf, 2014)</b> .....	34

## **Resumen Ejecutivo**

En esta oportunidad haremos un acercamiento a la definición y características de la Energía Geotérmica en Colombia, los lugares donde se encuentran disponibles estos recursos y los avances que ha tenido el país para el aprovechamiento de los mismos en la Generación de Energía Eléctrica; cual es la matriz de Generación Eléctrica en Colombia y cuál es la participación de las Energías Renovables en el sistema de Generación Eléctrico Nacional.

### **1. Palabras Clave**

Energía Geotérmica, Energías Renovables, Cambio Climático, Generación Eléctrica, Demanda de Energía, Sistema Interconectado Nacional.

## 2. Problema de Investigación.

Cuál es el avance de la Geotermia en Colombia para la Generación de Energía Eléctrica.

### 3.1 Antecedentes del Problema.

Actualmente la matriz de Generación Eléctrica Colombiana cuenta con una capacidad instalada de cerca de 18.9 GW, donde su principal fuente de generación es la hidroeléctrica con 12.54 GW, que equivale a un 66.4%; la generación térmica es de 6.06 GW, cerca del 32.1% y las plantas eólicas y solares generan 0.04 GW, 0.02%, (Ministerio de minas y energía, 2023). Pensando en situaciones medioambientales y en los aumentos significativos en la demanda de energía que puedan generarse en el futuro cercano, es conveniente evaluar la pertinencia del crecimiento de la capacidad del Sistema interconectado Nacional, en proyectos de generación que aporten al camino hacia la diversificación y transformación energética de nuestra matriz de generación de energía eléctrica, como los nuevos proyectos solares que ingresaron al sistema a inicio del año en curso, (Expertos en Mercados, 2023)

### 3.2 Descripción del Problema

A pesar de que hoy Colombia cuenta con una capacidad instalada superior en un 15% a la del año 2015, (Ministerio de minas y energía, 2023), que fue el año en el que se presentó un fuerte “Fenomeno del Niño”, la posibilidad de que se presente de nuevo este fenomeno a finales del año 2023 e inicios del 2024, y que continúe siendo recurrente en el futuro cercano, hace que el país no pierda de vista que más del 66% de la generación de energía para el Sistema Interconectado Nacional depende de fuentes hídricas, que se ven

disminuidas con dicho Fenomeno, es por eso que se vuelve importante la integración de proyectos para el desarrollo de soluciones energéticas que usen fuentes no convencionales de energía renovable, (Departamento Nacional de Planeación, 2023), posterior al afecto de decrecimiento en el consumo de energía eléctrica a raíz de la pandemia del COVID 19, se evidenció un crecimiento en dicho consumo del 5,24% entre los años 2021 y 2022, para los años 2023 y 2024 se estima un crecimiento del 3.1% frente a los años inmediatamente anteriores y para el mediano plazo, 2025 al 2036, se espera un crecimiento del consumo de energía del 2.22% al 3.35%, (Unidad de Planeación Minero Energética, 2022), teniendo en cuenta que estas estimaciones de la UPME no contemplan el crecimiento de los grandes consumidores, que básicamente son la industria y la manufactura que viene en crecimiento. Es importante entonces, que se trabaje en la diversificación energética en Colombia a partir de fuentes renovables no convencionales, fortalecer la generación Solar y Eólica, pero además, propender por la incursión de diferentes actores, gubernamentales o privados, en la implementación del aprovechamiento energético de la biomasa, la energía mareomotriz o geotérmica, (Departamento Nacional de Planeación, 2023), siendo esta última en la que nos enfocaremos en esta oportunidad, evaluando el potencial Geotérmico con el que cuenta el país y los avances en la generación eléctrica geotérmica.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Evaluar el potencial Geotérmico con el que cuenta Colombia y los avances en el aprovechamiento de este en la generación eléctrica del país.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Identificar potenciales fuentes de energía geotérmica en Colombia, para el aprovechamiento en la generación de energía eléctrica.

Conocer el estado actual de los proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de fuentes geotérmicas disponibles en Colombia.

Identificar las brechas existentes para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes geotérmica y cuáles serían las estrategias para superar esas brechas.

## 5 Justificación.

Evaluar el potencial Geotérmico aprovechable en la generación de energía eléctrica en Colombia, permite tener claridad con los recursos disponibles en el país para la futura expansión del Sistema Interconectado Nacional, pensando en la transición energética hacia energías renovables no convencionales, disminuir la huella de carbono y disminuir el impacto negativo en el cambio climático por la utilización de energías térmicas, generadas principalmente a partir del uso de del petróleo y el carbón. (Departamento Nacional de Planeación, 2023)

Con la implementación a futuro de generación de energía eléctrica con fuentes geotérmicas, se permite el aprovechamiento del potencial geotérmico con el que cuenta el país, el cual se encuentra en diferentes regiones, y de los cuales ya se tienen estudios adelantados y proyectos piloto en marcha para la operación comercial.

## 6 Marco Teórico

En Colombia la prestación del servicio de energía eléctrica se inició a finales del siglo XIX, cuando miles de habitantes de la capital del país vieron cómo se esparcía la luz de un centenar de lámparas que iluminaban las calles de Bogotá. Este hecho fue el resultado de la iniciativa de inversionistas privados, quienes constituyeron las primeras empresas que tenían como finalidad generar, distribuir y vender electricidad. (CREG, 2013)

A partir de ese momento, no solo se pensó en tener suministro de energía para el alumbrado público, se inició con el servicio al comercio, los hogares de familias más adineradas, y posteriormente se prestó el servicio a las fábricas, los talleres y al tranvía de la ciudad. Los particulares no realizaron las inversiones necesarias para hacer las ampliaciones requeridas en el sector, lo cual produjo fuertes debates y una presión política que terminó en que el Estado se convirtiera en dueño de las empresas. (CREG, 2013)

Con el fin de impulsar la electrificación en el país, en 1946 se creó el Instituto de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Eléctrico (Electraguas) que en 1968 se convirtió en el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL). Desde la década del 50 se empezó a hablar de la interconexión de los sistemas regionales, idea que solo se materializó con la creación de Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) en 1967. Durante las décadas de los 70 y 80 se produjeron varios hechos internacionales que afectaron la situación financiera del sector: recesión mundial de la economía, aumento en el precio del petróleo y la crisis de la deuda internacional. A comienzos de los años 90, un diagnóstico realizado a las empresas estatales de electricidad mostró resultados altamente desfavorables en términos de la eficiencia administrativa, operativa y financiera. Y entre 1991 y 1992 se produjo un racionamiento de energía, el más grande de la historia reciente del país. (CREG, 2013)

Con este panorama, a partir de la Constitución de 1991 se admitió, como principio clave para el logro de la eficiencia en los servicios públicos, la competencia para hacer posible la libre entrada de cualquier agente interesado en prestar los servicios. En diciembre de 1992 el Gobierno Nacional reestructuró el Ministerio de Minas y Energía, disolvió la Comisión Nacional de Energía y creó tres unidades administrativas especiales: la Comisión de Regulación de Energía (CRE) convertida en 1994 en la actual Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Información Minero Energética (UIME) y la Comisión de Planeación Minero Energética (UPME). (CREG, 2013)

Las energías renovables o también conocidas como energías limpias son aquellas que pueden ser regeneradas de forma natural sin ninguna intervención en su proceso de generación por parte del ser humano, son inagotables, no producen gases de efecto invernadero ni contaminantes que afectan directamente el cambio climático, si bien es cierto que cuenta con grandes ventajas se deben tener en cuenta que de acuerdo al tipo de energía cuentan con una intermitencia natural como por ejemplo la energía solar, esta estará presente por un lapso de horas cada día por lo cual deben ser transformadas y almacenadas para su posterior uso. Dentro de la energía renovable encontramos un sin número de estas energías pero los tipos principales son: La eólica que se genera a través del viento por medio de aerogeneradores, la solar que es obtenida a través de paneles fotovoltaicos, la energía hidráulica que es generada con agua mediante máquinas eléctricas acopladas, la mareomotriz que se genera a partir de las olas y la marea del mar, la energía geotérmica es generada por medio del calor interno de la tierra y la inercia térmica, por último la energía de biomasa que se produce a través del aprovechamiento de los residuos para ser convertida en biocombustibles. (JIMENEZ, L, 2019)

Colombia ha tenido avances significativos en la generación de energía con fuentes renovables geotérmicas, aunque aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo en comparación con otros países. En 2019, Colombia inauguró su primera planta geotérmica en el municipio de Tuluá, Valle del Cauca. Esta planta, llamada "Los Azufres I", tiene una capacidad instalada de 35 megavatios y utiliza el calor generado por el interior de la Tierra para producir electricidad. (SERVICIO GEOLÓGICOCOLOMBIANO, 2019).

El aumento de la población, el decaimiento de las reservas de algunas fuentes energéticas, el cambio climático y los cambios en el régimen de lluvias, han generado la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía que sean amigables con el planeta y que perduren en el tiempo. La energía geotérmica se considera amigable porque tiene un menor impacto ambiental respecto a fuentes energéticas convencionales; se destacan, la menor emisión de gases de efecto invernadero (gases que se acumulan en la atmósfera y favorecen el aumento de su temperatura) y sólidos suspendidos en el aire y no requiere de la ocupación de grandes extensiones de tierra para su desarrollo. Todo ello convierte a la energía geotérmica en una energía limpia. A diferencia de la mayoría de las energías renovables, la geotermia no depende de las variaciones climáticas, como sí lo hacen las fuentes eólica, solar e hidroeléctrica. (SERVICIO GEOLÓGICOCOLOMBIANO, 2019).

### **6.1 Origen del Recurso Geotérmico**

Este tipo de energía, se basa en los principios de la energía geotérmica, o en la explotación del calor natural de la tierra (término geotérmica tiene su etimología del griego «GE» y «termos», que literalmente significa «calor de la Tierra»). (Ruíz, 2023)

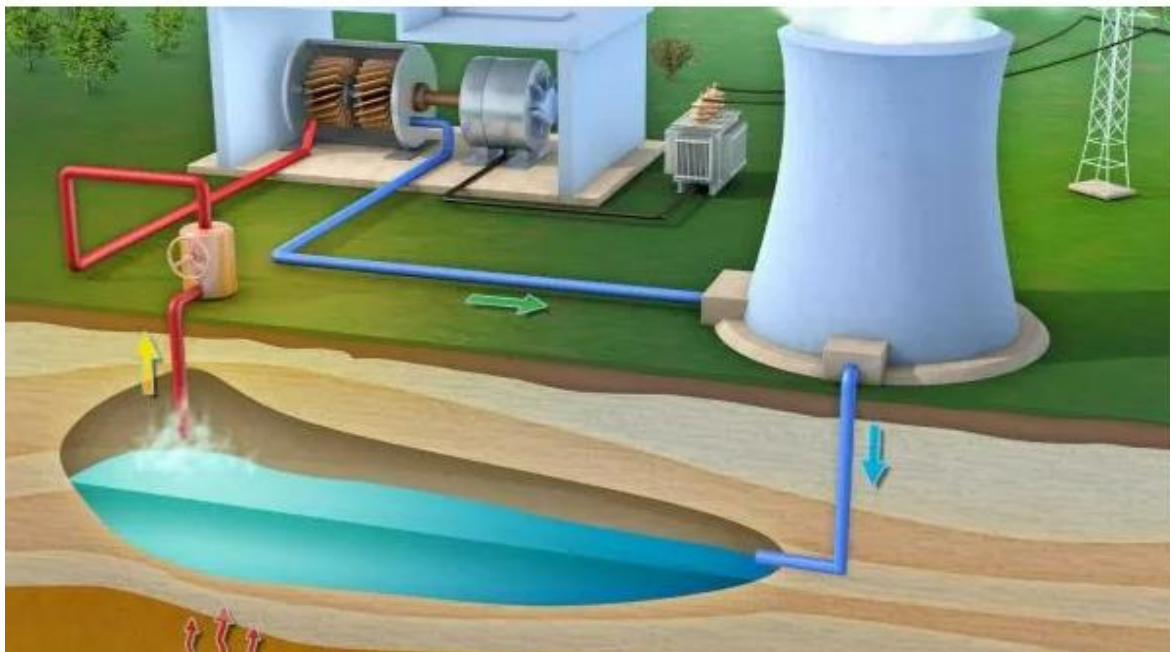


Figura 1. Esquema planta geotérmica de generación de energía. Fuente tomada de, (Ruíz, 2023).

El calor de la tierra es liberado naturalmente por los procesos de descomposición nuclear de elementos radiactivos presentes dentro del núcleo de la misma, el manto y la corteza terrestre. Algunos de estos elementos son uranio, torio y potasio que están contenidos en las áreas más internas de nuestro planeta. Al interior de la tierra, el núcleo es una masa incandescente que irradia calor hacia el exterior, motivo por el cual, a medida perforamos y profundizamos en la tierra, la temperatura irá aumentando en una progresión de 2 a 4 °C por cada 100 metros. (Ruíz, 2023)

Entre las capas de la tierra, el agua alcanza la profundidad suficiente para calentarse y experimentar un cambio de estado, pasando de líquido a vapor de agua saliendo a alta presión hacia la superficie, en forma de chorro o fuentes termales. (Ruíz, 2023)



Figura 2. Imagen de vapor de agua saliendo a alta presión. Fuente tomada de, (Ruíz, 2023).

## 6.2 Sistemas geotérmicos

Se conoce como sistema geotérmico, al conjunto de elementos naturales presentes en una misma área y del cual se pueden extraer fluidos a diferentes temperaturas y diferentes presiones, para ser utilizados con diversos fines. Los componentes principales de este tipo de sistemas son los siguientes:

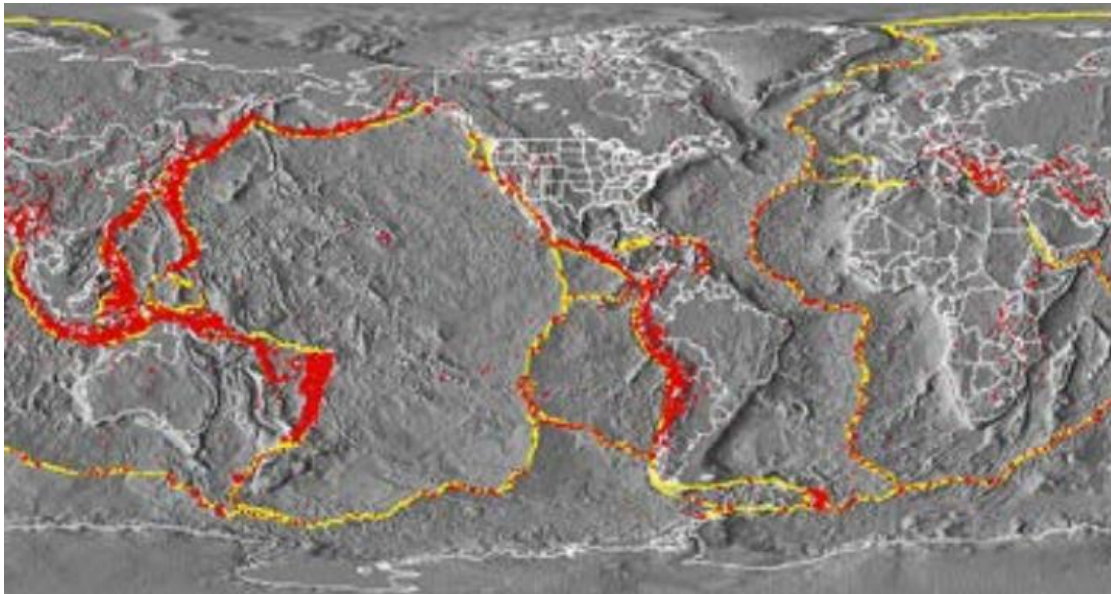
**a. Fuente de calor:** puede ser; una cámara magmática al interior de la tierra o los gases calientes que son producidos por dicha cámara, o las rocas calientes que incrementan la temperatura por contacto con un cuerpo volcánico intrusivo. Generalmente las fuentes de calor presentan unas temperaturas superiores a los 600 °C. Dicha fuentes se pueden encontrar a diferentes profundidades, normalmente a más de dos kilómetros. (Marzolf, 2014)

**b. Reservorio geotérmico:** es conocido también como yacimiento geotérmico, y están formados por una serie de rocas permeables, a través de las cuales circula el fluido geotérmico a unas profundidades que permiten fácilmente ser explotables. (Marzolf, 2014)

**c. Sistema de suministro de agua:** es el conjunto de fallas o diaclasas presentes en las rocas las cuales permiten la recarga del reservorio geotérmico con el agua que se infiltra en el subsuelo. Dicho flujo, reemplaza los fluidos que salen del reservorio en forma de manantiales termales o los fluidos extraídos a través de la perforación de pozos. (Marzolf, 2014)

**d. Capa sello:** se conoce así, al estrato impermeable compuesto generalmente por materiales arcillosos, producidos por la alteración que genera la temperatura sobre las rocas, el cual cubre el reservorio y evita la pérdida del agua y el vapor.

Colombia cuenta con una posición geográfica privilegiada y una geología favorable, que le permite contar con un amplio recurso geotérmico, al tener gran parte de su territorio ubicado en la zona conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico, zona donde el gradiente de temperatura natural del subsuelo es anómalamente alto. En el país encontramos gran potencial geotérmico en las zonas adyacentes a los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima entre otros. La presencia de fuentes de aguas termales y las fumarolas, además de historia eruptiva reciente, son la evidencia de que existe un recurso geotérmico con características que pueden ser transformadas para el uso con fines de generación de energía eléctrica. (Marzolf, 2014)



**Figura 3. Cinturón de fuego del pacífico. Fuente tomada de, (Marzolf, 2014).**

El choque y la subducción entre las placas tectónicas en la zona conocida como El Cinturón de Fuego del Pacífico, generan la mayor actividad volcánica del planeta, y a favor de Colombia, dicho Cintura de Fuego rodea la línea de la costa occidental del continente americano. Estas zonas presentan una elevada actividad sísmica y volcánica, generando un alto potencial geotérmico. El aumento de la temperatura de la tierra con la profundidad es una variable indicativa del potencial geotérmico de un sitio, un valor normal de gradiente térmico equivale a un aumento de entre 2 y 4 °C por cada metro. En algunas regiones, especialmente en aquellas donde se presentan volcanes, el gradiente geotérmico es superior al normal. Normalmente son zonas con gran presencia de manantiales de aguas termales, lo cual evidencia que son sitios con presencia de masas magmáticas, gases volcánicos en ascenso o roca caliente cerca de la superficie de la tierra provenientes de su

interior. Las regiones que presentan estas características facilitan la decisión de la exploración y el desarrollo geotérmicos para generación de energía eléctrica específicamente. (Marzolf, 2014)

### **6.3 Desarrollo de la Geotermia en Colombia**

A pesar de que en Colombia el desarrollo de este recurso es insipiente, el potencial eléctrico con recursos geotérmicos hidrotermales fue estimado por primera vez para Colombia, con base en criterio de expertos, entre 700 y 1370 MW, con la tecnología disponible a 1999, y con posibles crecimiento entre 1370 y 2210 MW, con lo cual se estimaba, para la época, que Colombia podría cubrir con esta generación el 20% de su demanda energética.

A partir del estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la república de Colombia (OLADE y Geotérmica Italiana, 1982), se estableció que toda la cordillera volcánica colombiana (Cordillera Central) hospeda una pronunciada anomalía térmica de carácter regional, inferida a partir de la persistencia de la actividad magmática a lo largo de un prolongado período, en las mismas áreas y de la presencia de numerosos aparatos volcánicos centrales activos o muy recientes, cuyo basamento es en general de permeabilidad baja, variable y de difícil evaluación. Dicho estudio de reconocimiento (OLADE y Geotérmica Italiana, 1982), así como la Investigación Geotérmica del Macizo volcánico del Ruiz (CHEC, CONTECOL, Geotérmica Italiana, 1983; Geocónsul, 1992) han aportado a la identificación de la gran mayoría de las áreas geotérmicas hidrotermales del territorio colombiano. (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2020)

De los estudios más significativos, encontramos los siguientes:

- Estudios de prefactibilidad de desarrollo geotérmico en las áreas de Chiles – Tufiño – Cerro Negro INECEL – OLADE 1982; OLADE – ICEL. 1986–1987. (Marzolf, 2014)
- Estudios de prefactibilidad de desarrollo geotérmico en las áreas del Complejo Volcánico Nevado del Ruíz. CHEC 1983; GEOCÓNSUL 1992; GESA 1997. (Marzolf, 2014)
- Mapa Geotérmico de Colombia. INGEOMINAS 2000 (Actualmente Servicio Geológico Colombiano). Mapa Geotérmico de Colombia. INGEOMINAS – ANH. 2008. (Marzolf, 2014)
- Estudios de investigación de los sistemas geotermiales de las áreas de los Volcanes Azufrales y Cumbal. INGEOMINAS 1998–1999, 2008–2009; INGEOMINAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA 2006. (Marzolf, 2014)
- Estudios de investigación de los sistemas geotermiales de las áreas de Paipa e Iza. INGEOMINAS 2005, 2008–2009. (Marzolf, 2014)
- Programa estratégico para el modelamiento del sistema hidrotermal magmático para el Proyecto Geotérmico Macizo Volcánico del Ruíz. Los estudios incluyen la toma de fotografías aéreas y restitución cartográfica, levantamiento de geología de detalle, estudios de geoquímica, hidrogeología, geofísica (gravimetría y magnetometría) y perforación de pozos de gradiente térmico. ISAGEN, UNAL, INGEOMINAS y COLCIENCIAS. 2010–2012. (Marzolf, 2014)
- Modelación de la estructura resistiva del subsuelo por sondeos magnetotéluricos para el Proyecto Geotérmico Macizo Volcánico del Ruíz. Capacitación y

entrenamiento en la aplicación de la tecnología de magnetotelúrica. ISAGEN, INGEOMINAS, CIF, UNAM y COLCIENCIAS. 2010–2012). (Marzolf, 2014)

- Estudios de prefactibilidad sobre recursos geotérmicos en dos áreas seleccionadas ubicadas en el Macizo Volcánico del Ruiz. Los estudios incluyen la elaboración del modelo geotérmico conceptual, selección de sitios para perforación exploratoria, diseño de infraestructura (pozos, plataformas y vías de acceso) y estudios ambientales para el desarrollo de la fase de factibilidad del Campo Geotérmico del Macizo Volcánico del Ruíz. Colombia (ISAGEN, BID/Fondo Japonés. Consorcio NIPPON KOEI – GEOTHERMAL E - INTEGRAL. 2011–2013. (Marzolf, 2014)
- Inversiones catalizadoras para energía geotérmica. Complementación del modelo resistivo del subsuelo, asesoría y acompañamiento para la etapa de perforación exploratoria. ISAGEN, BID/GEF. 2011–2014. (Marzolf, 2014)

**Complejo volcánico Chiles – Tufiño – Cerro Negro:** El área geotérmica del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro, fue reconocida como favorable a la presencia de campos geotérmicos industriales, a partir de evidencias geológicas de las que destacan su grado de evolución magmática, su edad reciente y persistencia de la actividad volcánica por un largo período de tiempo, la presencia de importantes manifestaciones termales como manantiales, así como un cráter de explosión freática y la existencia de un substrato de vulcanitas terciarias de espesor importante. (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2020)



**Figura 4. Complejo Volcánico Chilles – Cerro Negro. Fuente tomada de (SGC, 2020)**

**Complejo Volcan Nevado del Ruíz:** El conocimiento de los sistemas geotérmicos albergados en el Complejo volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín, localizado en la Cordillera Central de Colombia, se empezó a construir a partir de la caracterización de las principales fuentes termales y descargas de gas realizado en el año 1970. Este trabajo, realizado a partir del interés de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC), con fines de generación eléctrica, marcó el inicio del primer proyecto de exploración geotérmica propiamente dicho, realizado en Colombia, denominado Investigación geotérmica del Macizo Volcánico del Ruiz. Dicha investigación estableció que, la distribución de los volcanes, su edad, las manifestaciones termales y la tectónica permiten seleccionar áreas específicas con mayores anomalías. Al norte del polígono, entre los lineamientos Nevado del Ruiz y Botero Londoño y Termales de San Vicente – Laguna del Otún – Cerro España, se identificó que los manantiales termales de San Vicente y Botero Londoño fueron destacados como los de mayor importancia geotérmica por su composición clorurada sódica, su temperatura. (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2020)



Figura 5. . Cráter arenas. Volcán Nevado del Ruíz. Fuente tomada de, (SGC, 2020)

**Volcán azufral:** El área geotérmica del Volcán Azufral, también fue identificada como favorable a la presencia de campos geotérmicos industriales, por el estudio de reconocimiento (OLADE y Geotérmica Italiana, 1982). Los rasgos geológicos en que se basa dicha identificación incluyen, su edad reciente y larga persistencia de la actividad volcánica, evolución magmática completa, presencia de cráteres de explosiones freáticas en el interior de la caldera, presencia de actividad fumarólica y de numerosas manifestaciones hidrotermales, sustrato constituido por vulcanitas terciarias y evidencia de un acuífero de alta temperatura. (SGC, 2020)

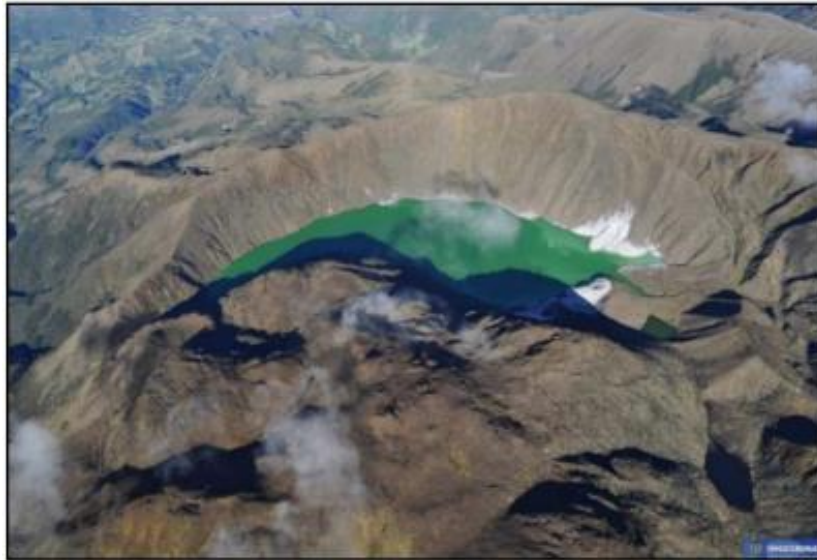


Figura 6. Volcán Azufral. Fuente tomada de (SGC, 2020)

**Sistemas geotérmicos en cuencas sedimentarias:** Además de las áreas geotermicas descritas, existen mucha más en el país, entre las cuales, es muy posible que en el territorio existan recursos geotérmicos de entalpía intermedia y baja, relacionadas con cuencas sedimentarias, como se puede interpretar de anomalías positivas observadas en el Mapa preliminar de Gradientes Geotérmicos. (SGC, 2020)

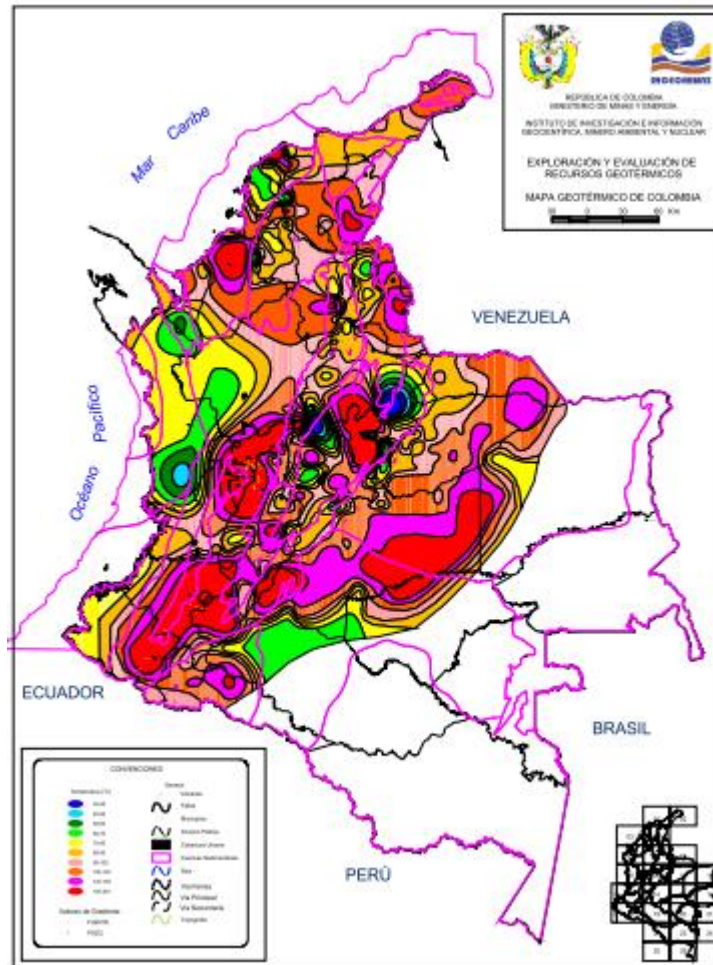
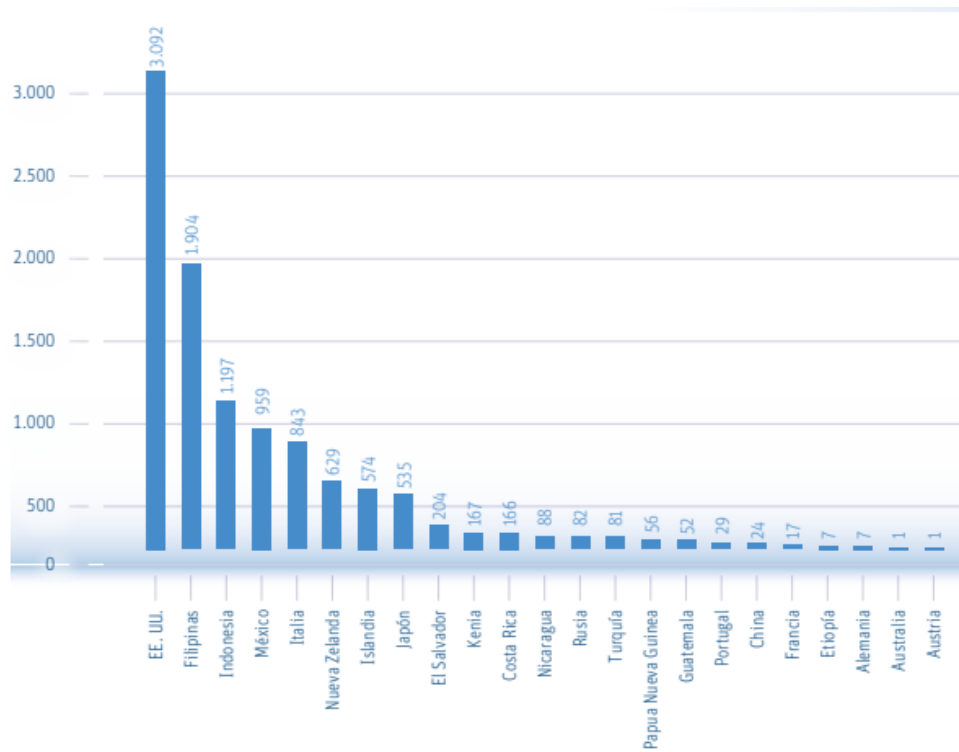


Figura 7. Mapa Preliminar de Gradientes Geotérmicos. Fuente tomada de (SGC, 2020)

## 6.4 Capacidad Instalada en el Mundo

Basados en los documentos de referencia para este estudio, (Marzolf, 2014), para el año 2010 existía cerca de 11.000 MW de capacidad Geotérmica instalada en el mundo, siendo EE.UU el mayor productor con un 27.3% de la capacidad, seguido por Filipinas con un 18.2% e Indonesia con un 10.9%, Mexico con una capacidad del 8.6% e Italia con un 7.7%, eran los 5 principales generadores, sumando entre ellos cerca del 73% de la capacidad instalada; y junto a Nueva Zelanda, Islandia y Japón, que contaban con una

capacidad instalada aproximada del 5% cada uno, serían los generadores del 90% a nivel mundial.



**Figura 8. Capacidad instalada generación Geotérmica mundial (2010). Fuente tomada de (Marzolf, 2014)**

Revisando la capacidad instalada en plantas operativas, nos encontramos que en el mundo, para el 2010, se contaba con cerca de 525 plantas de generación de energía geotérmica, de las cuales, el 84.6% se encuentran en los 8 países que tienen el 90% de la capacidad instalada, y el total de ellos corresponde a 444 plantas. (Marzolf, 2014)

País	Flash (contra presión)		Binaria		Flash (una etapa)		Flash (multietapa)		Vapor seco 1		Total	
	MW	Unidades	MW	Unidades	MW	Unidades	MW	Unidades	MW	Unidades	MW	Unidades
EE. UU.			653	149	59	4	795	30	1.585	25	3.092	208
Filipinas			209	18	1.330	31	365	7			1.904	56
Indonesia	2	1			735	14			460	7	1.197	22
México	75	15	4	2	410	15	470	5			959	37
Italia					88	5			755	28	843	33
Nueva Zelanda	47	5	137	24	290	12	100	1	55	1	629	43
Islandia			10	8	474	14	90	3			574	25
Japón			2	2	349	14	160	3	24	1	535	20
El Salvador			9	1	160	5	35	1			204	7
Kenia			14	3	153	7					167	10
Costa Rica	5	1	21	2	140	3					166	6
Nicaragua	10	2	8	1	70	2					88	5
Rusia					82	11					82	11
Turquía			14	2	20	1	47	1			81	4
Papua Nueva Guinea	6	1			50	2					56	3
Guatemala			52	8							52	8
Portugal			29	5							29	5
China							24	8			24	8
Francia			2	1	10	1	5	1			17	3
Etiopía			7	2							7	2
Alemania			7	3							7	3
Australia			1	2							1	2
Austria			1	3							1	3
Tailandia							0	1			0	1
<b>TOTAL</b>	<b>145</b>	<b>25</b>	<b>1.180</b>	<b>236</b>	<b>4.420</b>	<b>141</b>	<b>2.091</b>	<b>61</b>	<b>2.879</b>	<b>62</b>	<b>10.715</b>	<b>525</b>

Figura 9. Capacidad instalada generación Geotérmica mundial (2010). Fuente tomada de (Marzolf, 2014)

Contrario a lo que se podrá pensar, viendo los datos anteriores de capacidad instalada por país, la participación de estas en los sistemas interconectados internos de cada país no son tan significativas, entendiendo entonces, que a pesar de ser EE.UU el mayor productor, la energía Geotérmica solo aporta el 8% del total de su generación.

Para el caso de El Salvador, un país con apenas 7 plantas y 204 MW de generación geotérmica instalada, pocos comparado con los grandes generadores, tenía un aporte de generación para el país superior al 20% de su capacidad. Con lo anterior podemos definir que este tipo de generación puede ser complementaria a la generación de Colombia,

aportando al sistema interconectado nacional, pero lo más importante, es que puede ser de alto impacto y beneficio para suministrar en las regiones apartada.

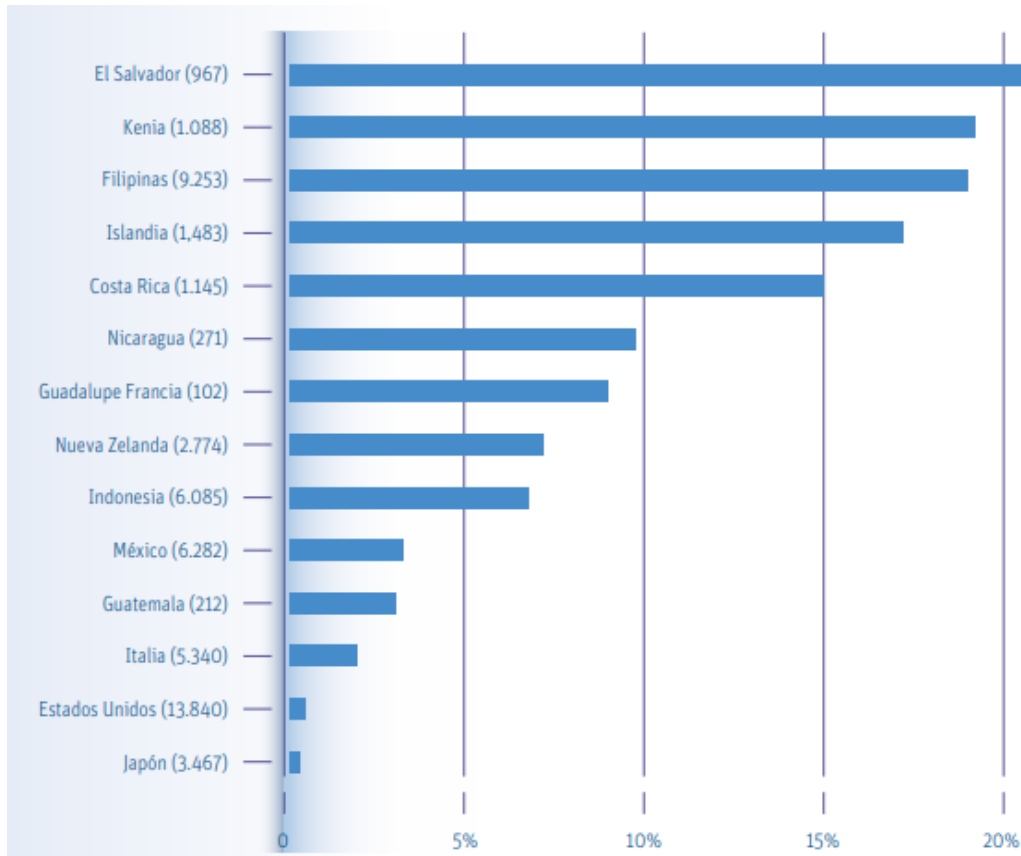


Figura 10, Generación y aporte de Energía Geotérmica por país (2010). Fuente tomada de (Marzolf, 2014)

## 6.5 Tecnologías de generación de energía eléctrica con Geotermia

Para el aprovechamiento de los fluidos geotérmicos se requiere de la implementación de turbinas o motores que giran con vapor produciendo un ciclo termodinámico conocido como Rankine, este hace referencia a la capacidad que tiene el vapor para expandirse y contraerse por el cambio que genera en su temperatura y su condensación. Al realizar inyección de vapor en los pistones del motor o en los alabes de una turbina, producen el movimiento de su eje y a la vez transmiten fuerza y movimiento a un generador eléctrico.

Para el aprovechamiento de la energía geotérmica en la generación de energía eléctrica, comúnmente se utilizan las siguientes tecnologías:

- a. **Flash:** Tecnología conocida también como abierta o de vapor directo, la cual es utilizada cuando se tienen fluidos geotérmicos disponibles para el proceso en la planta a una temperatura mayor de 200 °C. Dichos fluidos pasan a través de un separador, en el cual se retira el agua y se aprovecha el vapor para ser inyectado a presión a la turbina, esta genera un movimiento que hace girar el generador eléctrico, después de pasar por la turbina, el vapor es condensado y el agua retorna al proceso por medio de los pozos de reinyección. (Marzolf, 2014)

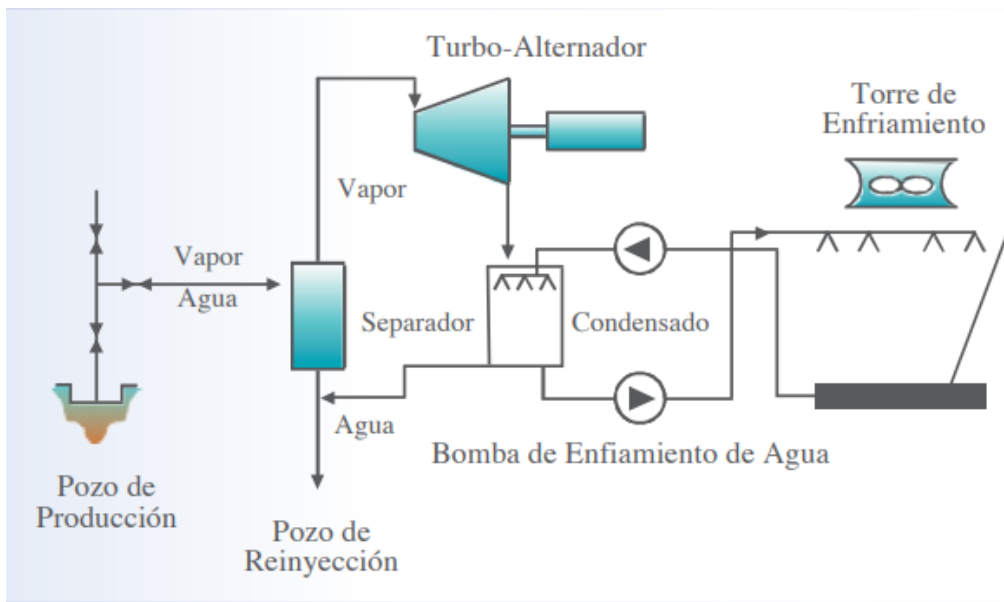


Figura 11. Esquema general de una planta tipo flash. Fuente tomada de (Marzolf, 2014)

- b. **Binaria:** Tecnología también conocida como planta de ciclo cerrado. Para este caso, la tecnología Binaria es utilizada cuando los fluidos que llegan desde el pozo a la planta para su aprovechamiento son inferiores a 200°C. Dichos fluidos se

aprovechan en un intercambiador para calentar compuestos que hacen parte del proceso, los cuales deben tener la capacidad de generar vapor de alta presión con bajas temperaturas.

El proceso siguiente es similar al de las plantas de vapor directo, el vapor que se genera se inyecta a la turbina, se produce el movimiento del generador, el vapor generado pasa por el condensador para retornar al ciclo. El fluido geotérmico de baja temperatura, luego de entregar el calor al proceso, retorna a los pozos de reinyección. (Marzolf, 2014)

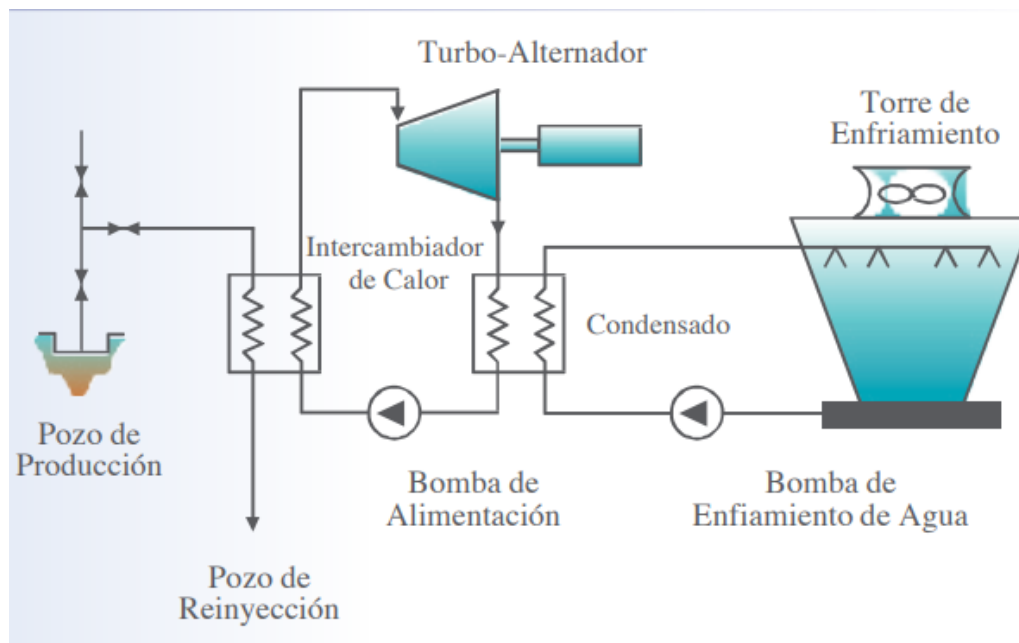


Figura 12. Esquema general de una planta binaria. Fuente tomada de (Marzolf, 2014)

Así como existen diferentes tecnologías dependiendo de la temperatura de los fluidos geotérmicos, también se pueden utilizar diferentes turbinas de vapor, las cuales dependerán de la presión con que llega el fluido y la temperatura del mismo, estas

variaciones son el diferencial capacidad y eficiencia en cada proceso, de las turbinas existentes, podremos encontrar:

- a. Turbinas de contrapresión:** En estas turbinas, la salida del vapor se encuentra a una presión más alta que la presión atmosférica, lo cual facilita el transporte del vapor para ser utilizado en diferentes procesos. (Marzolf, 2014)
- b. Turbinas de condensación:** En este proceso, al salir de la turbina, el vapor pasa por un intercambiador de calor para ser condensado, lo cual que se genere vacío y un empuje adicional para el giro de la turbina, luego, el vapor que fue condensado se transporta para ser reinyectado en el campo geotérmico. (Marzolf, 2014)
- c. Turbinas de una o varias etapas:** en este caso, el tipo de turbina a utilizar, depende de la presión y la temperatura que presentan los fluidos geotérmicos en el proceso. Cuando el vapor será utilizado y al salir de la turbina será condensado, se puede instalar una turbina de una sola etapa; para el uso de las turbinas de varias etapas, por lo menos, el vapor debe tener la suficiente presión para ser utilizado en una etapa de la turbina que opera a alta presión y entra a otra etapa de la turbina que opera con vapor a una menor presión, media o baja, después de que el vapor pierde su capacidad de trabajo, es pasado por un condensador para ser reinyectado al campo geotérmico. (Marzolf, 2014)

## 6.6 Características ambientales de la tecnología Geotermia

Actualmente existen diferentes percepciones ambientales frente al uso de la geotermia en la generación de energía y algunos temores sobre los efectos que pueda llegar a causar la implementación de esta tecnología para el medio ambiente y las comunidades aledañas a los proyectos.

La Asociación de Energía Geotérmica (GEA) para el año 2004, realizó un proceso de recolección de información sobre el desarrollo de plantas geotérmicas para la generación de energía eléctrica, de su resultado nos basaremos para presentar algunas características ambientales de dicha tecnología. (Marzolf, 2014)

#### 6.6.1 Clasificación del recurso.

La energía geotérmica es considerada una fuente de energía limpia, renovable y amigable con el medio ambiente en todo el mundo. El reservorio, se considera que el flujo de calor al interior de la tierra puede ser cercano a los 42 millones de megavatios de energía, lo cual implica que seguirá siendo una energía disponible por miles de años más, constituyéndose en una fuente ilimitada de energía. (Marzolf, 2014)

Existen al rededor del mundo plantas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes geotérmicas que cuentan con más de cien años de uso. Estados Unidos es el mayor productor a nivel mundial, generando para el año 2014 en promedio por año cerca de 15.000 millones de kW/h, cifra que equivaldría a la combustión de casi 25 millones de barriles de petróleo. (Marzolf, 2014)

Para llevar a cabo un proyecto de generación de energía en un campo geotérmico, se requiere de la utilización de espacio suficiente para diseñar y construir los pozos de producción de vapor y los pozos de reinyección de agua al proceso, además de construir las tuberías para la conducción de fluidos geotérmicos, las líneas de conducción de energía eléctrica hacia una subestación eléctrica y las vías de transporte a lo largo del proyecto. (Marzolf, 2014)

Para considerar que este proceso de generación de energía como limpio y renovable, es importante que se tenga en cuenta que se busca disminuir el uso del espacio, se aprovechan sus fluidos al máximo y los vapores o líquidos que pasan por el condensador y se convierte en desperdicio del proceso, se reinyectan para continuar el ciclo de generación. Para disminuir el aumento de la temperatura ambiente, los pozos que se utilizan para la producción y la reinyección son aislados térmicamente con tuberías de recubrimiento. Para

El proceso de condensar el vapor, se usan torres de enfriamiento de gran tamaño con un circuito cerrado de agua que ayuda a que el desperdicio de este recurso sea mínimo en el proceso de generación. (Marzolf, 2014)

- El vapor que se usa para la generación proveniente de pozos, se utiliza y se condensa con el fin de reinjectarlo nuevamente al reservorio geotérmico, por lo cual no se presentan emisiones atmosféricas. (Marzolf, 2014)
- Para el proceso de condensación del vapor, se requiere de un sistema de enfriamiento con agua en ciclo cerrado, por lo cual la demanda y uso del agua en la superficie es baja, solo para la reposición del agua que se evapora en el proceso de enfriamiento. (Marzolf, 2014)
- Cuando la planta se encuentre en operación continua, el agua y el vapor que se utiliza fluyen desde el reservorio hacia la planta de producción, el vapor que sale de las turbinas es condensado reinjectado al proceso, manteniendo un flujo constante de vapor y agua desde el reservorio hacia la planta y viceversa. (Marzolf, 2014)
- Desde el proceso de generación no se generan vertimientos líquidos, ya que todos los fluidos son reinjectados. (Marzolf, 2014)

- Los pozos que se utilizan para la producción de vapor son revestidos internamente para evitar la contaminación de aguas subterráneas con aguas calientes que salen del reservorio, de igual manera, los ductos de reinyección son revestidos internamente para evitar que se presente la filtración de aguas frías subterráneas al reservorio. (Marzolf, 2014)
- El recurso geotérmico está disponible todo el año independiente de las variaciones hidrológicas o climáticas que se puedan presentar. (Marzolf, 2014)
- La energía geotérmica para la generación de energía eléctrica, podría reemplazar significativamente el consumo de carbón y gas que se requiere para la generación de dicho recurso. (Marzolf, 2014)
- La geotermia en la generación de energía eléctrica, contribuye a la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. (Marzolf, 2014)
- Mantenido en equilibrio entre la extracción de fluidos geotérmicos y la reinyección de líquidos condensados al reservorio, se mantendrá la producción de vapor de manera indefinida por el tiempo que se cuente con una fuente de calor. (Marzolf, 2014)

#### 6.6.2 Emisiones atmosféricas.

Es común ver en las plantas de generación geotérmica que salen columnas de algún material, que a simple vista parecerían contaminantes, pero no son más que vapor de agua proveniente del mismo proceso, purgas del sistema, escapes de presión de manera no recurrente o vapor de agua proveniente del sistema de enfriamiento. Normalmente estas plantas solo utilizan combustibles fósiles para las plantas de emergencia, que operan solo en caso de que la planta se encuentre apagada y no sea posible la conexión al sistema

interconectado nacional. La operación de este tipo de plantas es cercano al 90% de su disponibilidad, por lo que en promedio operan 330 días al año.

Emisión	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Material particulado (PM)	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Impactos esperados	Irritación de los pulmones, Tos, formación de smog, Deterioro de la calidad del agua.	Problemas respiratorios, opresión en el pecho, enfermedades respiratorias, daño del ecosistema	Asma, bronquitis, cáncer, deposición atmosférica, disminución de la visibilidad.	Calentamiento global, aumento del nivel del mar, riesgo de inundaciones, derretimiento de los glaciares
Planta geotérmica	0	0-0,35	0	0-88,8
Planta de carbón	4,31	10,39	2,23	2.191
Emisiones compensadas por explotación geotérmica (millón ton/año)	32	78	17	16.000.000

Figura 13. Estudio de caso de emisiones contaminantes, Fuente tomada de (Marzolf, 2014)

### 6.6.3 Vertimientos líquidos y sólidos.

Normalmente la planta de generación geotérmica cuando se encuentran en operación, no generan ningún tipo de vertimiento de líquidos ni residuos sólidos, todos los fluidos geotérmicos producen sales y minerales que a través del proceso de condensado se precipitan formando unas salmueras que son reinyectadas al reservorio junto con los fluidos condensados. (Marzolf, 2014)

Durante las actividades de exploración y desarrollo del campo, específicamente durante las actividades de perforación, se producen algunos lodos y residuos, los cuales normalmente se llevan a un relleno para su disposición. Durante la entrada en operación,

todos los residuos líquidos o sólidos que se producen en las actividades de mantenimiento y en las oficinas, deben ser tratados de acuerdo a las normas como se específica para el manejo de residuos en cada país. (Marzolf, 2014)

Adicional a lo anterior, se debe mencionar que algunas plantas de generación de energía con fuentes geotérmicas en servicio a nivel mundial han disminuido la reinyección de fluidos condensados para darles utilidad en otros procesos.

Las plantas geotérmicas, como lo hemos mencionado, requieren poca agua limpia para su operación, solo la suficiente para suplir el uso de los servicios básicos del personal de planta y administrativo y para recuperar niveles del circuito de enfriamiento; en promedio se consumen 5 galones/MWh, siendo muy eficiente en comparación con una planta de generación de energía eléctrica en una planta térmica operada a gas, que podría consumir más o menos 360 galones/MWh. (Marzolf, 2014)

#### **6.6.4 Uso del terreno.**

Una planta para el aprovechamiento geotérmico normalmente requiere poco espacio para su construcción y operación, aunque en muchos casos, el campo geotérmico podría estar ocupando extensas áreas físicas, su utilización es muy puntual, dado que solo se requieren los espacios para las plataformas de perforación de los cabezales de pozo, para generación de vapor y para la reinyección de fluidos, los corredores con las tuberías de transporte de vapor y de aguas condensadas, la planta de generación geotérmica, las líneas de conexión y la subestación eléctrica, la torre de enfriamiento y el edificio para la operación. La infraestructura del campo y la planta generalmente ocupa menos del 10% del área del campo geotérmico. (Marzolf, 2014)

La Asociación Internacional de Geotermia (IGA) se basa en información para citar como ejemplo del uso del terreno de diferentes tipos de proyectos de generación de energía, como lo muestra la tabla a continuación:

Tecnología	Área requerida m <sup>2</sup> /GWh	Observación
Carbón	3.642	Incluye la actividad de la minería
Solar térmica	3.561	Para un proyecto fotovoltaico con estación central no en azoteas de edificios
Solar fotovoltaica	3.237	
Geotérmica	404	Área ocupada por las turbinas y vías de servicio

Figura 14. Áreas demandadas por diferentes tipos de generación, Fuente tomada de (Marzolf, 2014)

## 6.7 Dificultades en la explotación del recurso Geotérmico para Generación de Energía en Colombia

Las principales dificultades que se encuentran en Colombia para la explotación del recurso Geotérmico en la generación de energía eléctrica pueden ser, la regulación normativa del país y los altos costos para la exploración, el diseño y la construcción de las plantas.

A pesar que desde los años 70's se viene hablando de energías renovables en Colombia, es solo hasta el año 1994 cuando se otorgan facultades al Ministerio de Minas y Energía para definir los criterios de aprovechamiento económico de las energías convencionales y no convencionales. Pero es solo hasta el año 2001, que por medio de la Ley 697 se busca promover el uso eficiente y racional de la energía y se empiezan a promover las energías alternativas o de fuentes no convencionales para le uso particular, entendiendo que son energías disponibles a nivel mundial pero que en ese momento en el

país no eran utilizadas para comercializar ampliamente, definiendo la energía solar, la eólica, la Biomasa y la geotermica como fuentes no convencionales.

Para el año 2014 se busca regular la integración de las energías renovables no convencionales al sistema interconectado nacional, es allí donde se define la Ley 1715 del 13 de Mayo de 2014, con el fin de promover el desarrollo de proyectos para la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente las de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, promoviendo su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos en busca del desarrollo económico sostenible del país, buscando la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y asegurando el abastecimiento energético. Buscando disminuir la brecha de generación, insentivar el desarrollo de proyectos no convencionales de generación de energía eléctrica, con dicha Ley, se otorgan incentivos a la inversión, permitiendo que las empresas durante los 5 años siguientes a la ejecución de los proyectos, se puedan reducir de su renta hasta el 50% del valor total de la inversión realizada. (UPME, 2014)

Buscando incentivar la generación de energía con Fuentes No Convencionales de Energía, se dejan exentos del pago del IVA, todos los equipos, elementos, maquinarias y servicios nacionales o internacionales, utilizados en la inversión, la producción o la utilización de dichas fuentes de energía. Así como beneficios contables y tributarios que permiten, a partir de la entrada en vigencia de esta Ley, gozar de una depreciación acelerada de los equipos. (UPME, 2014)

Para el año 2021, en busca de fomentar el desarrollo de proyectos de generación con energías alternativas y hacerlas parte de la transición energética del país, se expide la Ley 2099 del 2021, que tiene como objeto buscar la dinamización del mercado energético

promoviendo el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de generación de energía. Con la entrada en vigencia del Decreto 1318 del 2022 cuyo objeto es adoptar los lineamientos necesarios con el fin de incentivar la exploración y explotación del Recurso Geotérmico en la generación de energía eléctrica, así como para fomentar el conocimiento del subsuelo, adoptando las definiciones necesarias para tener claridad en lo concerniente a los permisos legales y ambientales necesarios, delimitando las áreas requeridas y los usos permitidos de cada proyecto. (Ministerio de Minas y Energía, 2022)

Dentro de las brechas identificadas para la explotación de los recursos Geotérmicos del país en la generación de energía eléctrica, se encontraron los costos elevados para el desarrollo de estos proyectos, encontrando que uno de los mayores riesgos de inversión se tiene al inicio del proyecto en la etapa de factibilidad, donde se requieren hacer mínimo 3 perforaciones exploratorias. A parte de los costos de diseño y construcción, que a pesar de estar subsidiados en algunos elementos, como lo veíamos anteriormente.

Para tener una idea de este último componente, se indagó sobre el proyecto de exploración geotérmica que desarrolló ISAGEN SA ESP en el año 2014, para lo cual se tuvo la posibilidad de realizar una entrevista a Eliana Mejía Toro, Ingeniera Geóloga, MSc en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética quien se desempeñaba para la época en Isagen como Profesional Desarrollo de Proyectos y cuya experiencia se basa en la participación en los estudios de prefactibilidad de los proyectos geotérmicos Macizo Volcánico Nevado del Ruiz y Chiles-Tufiño-Cerro Negro, así como en la perforación de pozos geotérmicos exploratorios en Saint Vincent & The Grenadines, de dicha entrevista podemos destacar los siguientes temas:

Para el año 2010, el Dr. Fernando Rico Gerente General de Isagen para la época, anunciaba el inicio de un proyecto de exploración entre Isagen y el Gobierno de Ecuador, para realizar estudios en los alrededores del macizo volcánico del Nevado del Ruiz y en la frontera con el vecino país, para buscar reservorios de agua termal.

- **¿Conoce usted qué resultados que arrojaron dichos estudios y que potencial encontró la empresa para la generación Geotérmica?**

En el caso del proyecto geotérmico Macizo volcánico del Nevado del Ruíz, Isagen avanzó hasta los estudios de prefactibilidad avanzada, es decir, se realizaron los estudios exploratorios de superficie que incluyeron el levantamiento de información primaria en las temáticas de geología, geoquímica, geofísica e hidrogeología, así como la perforación de pozos de gradiente térmico y modelo geotérmico conceptual. Con lo anterior, se estimó un potencial geotérmico de 50 MW y la definición de los objetivos de perforación profunda requeridos para la confirmación de un recurso geotérmico en el subsuelo. Posterior a las actividades en mención, desde Isagen no se continuó con el proyecto.

Respecto al proyecto geotérmico Chiles-Tufiño-Cerro Negro cuya iniciativa hizo parte de un acuerdo binacional con el Gobierno de Ecuador, se avanzó hasta la adquisición de información primaria de geología, geoquímica e hidrogeología, toda vez, que la comunidad se opuso a la continuidad de los estudios exploratorios de superficie. De manera preliminar se estimó un potencial de 40 MW, sin embargo, no hubo continuidad del proyecto.

- **¿Cuál es el potencial de generación de energía geotérmica en nuestro país?**

A partir del inventario de manantiales termales de Colombia, el Servicio Geológico Colombiano estimó un potencial geotérmico preliminar de aproximadamente 1170

MWe, que equivale aproximadamente al 7% de la capacidad eléctrica instalada en el país. Es de resaltar, que el potencial preliminar estimado está asociado con sistemas hidrotermales y no está cuantificado el potencial geotérmico que puede estar presente en las cuencas sedimentarias o que pueden ser aprovechados en coproducción en la industria de los hidrocarburos.

- **¿Cuál podría ser aproximadamente la inversión inicial requerida y cuál es el costo operativo y de mantenimiento de una planta geotérmica?**

La inversión inicial y con mayor riesgo corresponde a la etapa de factibilidad, donde se requiere realizar al menos tres perforaciones exploratorias para confirmar la existencia de un recurso geotérmico aprovechable y el potencial asociado. La inversión estimada para esta etapa es de aproximadamente USD\$ 30 M.

Para el desarrollo del campo, en el cual se requiere perforar nuevos pozos de producción y reinyección, así con el diseño y construcción de la planta de generación, se estima una inversión de aproximadamente USD\$ 200 -250 M para una capacidad instalada de 50 MW.

Durante la operación y mantenimiento la inversión es mínima, siendo muy inferior a los costos operacionales asociados con otras fuentes de energía renovables como la solar, eólica

- **¿Qué tecnologías se utilizan en la generación de energía geotérmica y cuáles son sus limitaciones?**

Desde el punto de vista de generación de energía eléctrica con recursos geotérmicos, se cuenta con diferentes tecnologías para su aprovechamiento en función de las características del recurso, en especial de su temperatura.

Es así como, para fluidos vapor dominante, en general con temperaturas del recurso superior a 250°C, se utiliza las plantas de vapor seco, las cuales suelen ser las más

eficientes por el aprovechamiento directo del vapor extraído del subsuelo para la generación de electricidad.

Para fluidos líquido dominantes de alta temperatura ( $>180^{\circ}\text{C}$ ) se utiliza las plantas tipo flash donde el fluido geotérmico extraído del subsuelo pasa por un separador a fin de separar la fase vapor de la fase líquida del fluido. El vapor pasa a la turbina para la generación de energía eléctrica y el líquido es nuevamente reinyectado en el subsuelo.

Para fluidos con temperatura entre  $75^{\circ}\text{C}$  -  $180^{\circ}\text{C}$  se utilizan las plantas de ciclo binario donde un fluido de trabajo (isopentano, isobutano, entre otros) de baja temperatura de ebullición es calentado con el fluido geotérmico para su ebullición y transformación en el vapor requerido para la generación eléctrica. El ciclo binario, es un ciclo cerrado.

Actualmente se están incorporando nuevas tecnologías a fin de aprovechar recursos de baja temperatura/entalpía para generación eléctrica directamente desde manantiales termales con temperaturas mínimas de  $90^{\circ}\text{C}$ , con la implementación de sistemas de generación portátiles de baja potencia.

- **¿Cuáles son los riesgos ambientales asociados a la generación de energía geotérmica y cómo se pueden mitigar?**

Dentro de los posibles impactos ambientales asociados a la generación de energía geotérmica están:

- Contaminación de acuíferos durante la etapa de perforación, los cuales son mitigados con la cementación y sellamiento de las paredes del pozo con cemento a fin de aislarlo de la formación geológica.

- Subsistencia durante la etapa de operación del campo, los cuales son mitigados con el control y seguimiento de las presiones a lo largo del campo geotérmico.
  - Contaminación de fuentes hídricas con la salmuera geotérmica, el cual es mitigado con la reinyección de los fluidos nuevamente en el subsuelo a fin de evitar la descarga de fluidos en la superficie y además contribuir con el control de las presiones en el reservorio. Se realiza un sistema casi cerrado, donde la fase líquida que se extrae del reservorio es nuevamente incorporada dentro del sistema mediante la reinyección desde un pozo adecuado para tal fin.
  - Sismicidad inducida de menor magnitud. Para la mitigación monitoreo y control de presiones
  - Emisiones de gases no condensables como el H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, HCl, HF, CH<sub>4</sub>. Para su mitigación se tiene la reinyección, captura de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, conversión a azufre, etc.
- **¿Existe la posibilidad de utilizar la generación de energía geotérmica a pequeña escala para comunidades o zonas rurales?**

En efecto. La energía geotérmica es una fuente energética versátil que puede ser aprovechada para diferentes usos ya sean directos e indirectos. Dentro los usos indirectos están la generación de energía eléctrica que puede ser usada a pequeña escala para comunidades o zonas rurales mediante la implementación de sistemas de generación de generación distribuida portátiles de baja potencia (5-10 kW) que aprovechan el calor proveniente de fuentes termales superficiales. Adicionalmente,

se puede implementar plantas a condensación de boca de pozo con capacidad de (3-10 MW) directamente desde un pozo geotérmico profundo.

Por otro lado, para usos directos la energía geotérmica puede ser aprovechada a pequeña escala en sistemas de distribución de calor/enfriamiento mediante la implementación de bombas de calor o circuitos de distribución hidráulico – suelo radiante, así como para usos industriales como la deshidratación de frutas/verduras, acuicultura, balneología, pasteurización de leche, entre otros.

- **¿Cuál es el impacto económico y social de la generación de energía geotérmica en las áreas donde se implementa?**

Como se comentó previamente, al ser la energía geotérmica una fuente versátil, su aprovechamiento genera un impacto económico y social en función de la actividad desarrollada.

Desde el punto de vista de generación eléctrica, una ventaja que tiene la geotermia es que el uso de la tierra para su implementación es mucho menor que el requerido para la generación eléctrica con energía solar, eólica, hidráulica, entre otros, lo que permite reducir posibles conflictos con el uso del terreno; así mismo tiene un bajo impacto visual, dado que puede ser fácilmente introducida en el contorno del paisaje circundante.

Por otro lado, al igual que otros proyectos productivos, va a proporcionar un incremento de fuentes de empleo para las comunidades circundantes durante las diferentes fases del proyecto, así como un aumento de oportunidades en función de los diversos usos en escala que se pueden implementar a través de una planta de generación eléctrica.

- **¿Cuál es el papel de la generación de energía geotérmica en la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables?**

Al ser la energía geotérmica una fuente limpia y renovable, ya es una alternativa de interés para la transición energética del país y diversificación de la matriz eléctrica. Dado que la geotermia para generación de energía eléctrica no depende de condiciones externas como el sol, el viento, el clima, es considerada una fuente de energía base que permite garantizar la entrega de energía las 24 horas del día los 7 días de la semana, lo que permitirá proporcionarle al sistema eléctrico confiabilidad, seguridad energética y una contribución importante en la descarbonización del sistema.

## 7. Conclusiones

La investigación demostró que Colombia cuenta con un potencial Geotérmico muy importante, la ubicación privilegiada en el cinturón de fuego del Pacífico la convierte en uno de los países de Sur América con mayor recurso de este fluido, permitiendo que desde la aplicación de las políticas públicas vigentes, se puedan llevar a cabo proyectos que favorezcan al país tener un desarrollo más sustentable de su economía mientras contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero.

Para el objetivo uno propuesto, se logró identificar que en las cordilleras central y occidental se encuentra el mayor recurso de energía geotérmica de Colombia, el Macizo volcánico del Nevado del Ruiz y Geotérmico Binacional Chiles-Tufiño-Cerro Negro, y que pese a los pocos desarrollos que se tiene para la generación de energía eléctrica en estos y otros sitios del país, con la explotación de estos se podría contribuir al mejoramiento del recurso de energía en zonas apartadas, lejanas a las posibilidades de conexión al sistema energético del país.

Con esta investigación se pudo evidenciar que, pese a los intentos por desarrollar proyectos de generación eléctrica con energía Geotérmica en Colombia desde hace muchos años, y a pesar de que el gobierno nacional viene incentivando desde el año 2014 el desarrollo de esta tecnología en el país, no se logrado que la mayoría de proyectos avance, hoy en día solo un proyecto de 38MW/h se encuentra en operación, los demás se encuentra en etapa de pre factibilidad.

El tercer objetivo propuesto, busca identificar las brechas existentes para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes geotérmica, para lo cual se pudo identificar que las principales dificultades se encuentran en la generación de permisos a través de la autoridad ambiental, pese a que los diferentes gobiernos, desde el año 1994, vienen reglamentando el uso del suelo y el desarrollo de actividades orientadas a la generación de la energía a través de la geotermia, los tiempos de los permisos para exploraciones de pre factibilidad y las autorizaciones para los desarrollos de los proyectos son muy largos.

Como segundo elemento que genera una brecha en la explotación del recurso geotérmico con fines de generación de energía se identificó que los altos costos para la ejecución de los proyectos, a pesar que desde el año 2014, con la entrada en vigencia de la Ley 1715, el gobierno buscaba beneficios tributarios en la renta de las empresas que integraran energías no convencionales al sistema energético nacional, y deducciones del IVA en la compra de los equipos, servicio e insumos para el desarrollo de la actividad, no se vieron muchos avances en el tema.

## 8. Lista de Referencias

CREG, C. d. (23 de Octubre de 2013). Historia en Colombia. Obtenido de

<https://creg.gov.co/publicaciones/7818/historia-en-colombia/>

Departamento Nacional de Planeación, D. (7 de Julio de 2023). El Plan Nacional de

Desarrollo marca la ruta de la transición energética del país. Obtenido de

[https://www.dnp.gov.co/Prensa\\_/Noticias/Paginas/el-plan-nacional-de-desarrollo-marca-la-ruta-de-la-transicion-energetica-del-pais.aspx](https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/el-plan-nacional-de-desarrollo-marca-la-ruta-de-la-transicion-energetica-del-pais.aspx)

Expertos en Mercados, X. (24 de Abril de 2023). 18 proyectos nuevos ingresaron en el

primer trimestre de 2023 al Sistema Interconectado Nacional. Obtenido de

<https://www.xm.com.co/noticias/5801-18-proyectos-nuevos-ingresaron-en-el-primer-trimestre-de-2023-al-sistema>

JIMENEZ AREVALO, L. J. (2019). EVOLUCIÓN DE LAS ENERGIAS RENOVABLES EN COLOMBIA Y SU IMPLICACIÓN PARA LA AGENDA 2030. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/38527/JimenezArevaloLoidyJulieth2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de minas y energía, m. (11 de Mayo de 2023). El sistema eléctrico colombiano

estaría en capacidad de afrontar un posible fenómeno de El Niño. Obtenido de

<https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/el-sistema-el%C3%A9ctrico-colombiano-estar%C3%ADa-en-capacidad-de-afrontar-un-posible-fen%C3%B3meno-de-el-ni%C3%B1o/>

Ruíz, G. (14 de Octubre de 2023). ¿QUÉ ES LA ENERGÍA GEOTÉRMICA? FUENTES, USOSO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.

Obtenido de <https://erenovable.com/energia-geotermica/>

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, S. (2019). GEOTERMIA EN COLOMBIA. Bogotá DC: Imprenta Nacional de Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética, U. (2022). Proyecciones de demanda. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia>

MARZOLF, NATACHA C, M. (2014). EMPRENDIMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13779/emprendimiento-de-la-energia-geotermica-en-colombia>.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, S, (2020). ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE COLOMBIA Obtenido de [https://recordcenter.sgc.gov.co/B22/742\\_2021EstiPrePotGeotColombia/Documento/Pdf/EstiPrePotenGeoterColom.pdf](https://recordcenter.sgc.gov.co/B22/742_2021EstiPrePotGeotColombia/Documento/Pdf/EstiPrePotenGeoterColom.pdf)

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. (2014). Ley 1715 del 13 de Mayo de 2014. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)

Ministerio de minas y energía, m. (27 de Julio de 2022). Decreto 1318 del 27 de Julio del 2022. Obtenido de <https://normativame.minenergia.gov.co/normatividad/6188/norma/>