



# **La Energía Geotérmica como fuente alternativa de abastecimiento para la demanda en Colombia**

**Adriana María Gil González**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio  
Ambiente Medellín, Colombia

2019

# **La Energía Geotérmica como fuente alternativa de abastecimiento para la demanda en Colombia**

**Adriana María Gil González**

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Director (a):

Ms., Yesid Alexis Sánchez Acosta

Línea de Investigación: Gestión y Manejo Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Medellín, Colombia

*(Dedicatoria )*

*A Dios por su sabiduría constante.*

*A mi madre y hermana por siempre creer en mis capacidades como mujer y profesional; fueron impulso y motor permanente para lograr mis propósitos.*

*A mi esposo, por su apoyo incondicional en cada paso que di en mi formación como Profesional; su confianza y amor es y será siempre el aliciente para construirme diariamente como ser humano.*

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, sede Medellín por permitirme culminar mi formación como Ingeniero Ambiental a través de la construcción de un aprendizaje de calidad y compromiso por parte de cada uno de sus docentes.

A mi asesor, El Magíster Yesid Sánchez Acosta por su apoyo constante durante mi formación y construcción de este trabajo de grado a través de cada una de sus orientaciones.

## Resumen

El crecimiento de la población, así como el de la industria manufacturera de forma exacerbada en la última década, ponen de cara a la generación energética de forma renovable, como un reto a afrontar por los países en vía de desarrollo, siendo además un mecanismo de impulso para las economías emergentes y los nuevos modelos económicos.

En Colombia, las principales fuentes de generación energética son a través de hidroeléctricas y termoeléctricas, sin embargo, debido a los efectos del calentamiento global, cada vez son más las fuentes hídricas con una disminución considerable en los caudales, sumado a ello, los efectos adversos y los grandes impactos que generan las construcciones de este tipo de sistemas de generación, ponen de manifiesto la necesidad de explorar otras fuentes de producción para la satisfacción de la demanda energética.

La energía termoeléctrica por su parte entra en debate debido al uso del recurso agua, sumado a la generación de emisiones ligadas a sus procesos de combustión, principalmente de petróleo, carbón y gas, convirtiendo este sistema de producción en una alternativa poco amigable con el medio ambiente y su conservación. De este modo, la Energía Geotérmica se convierte en una opción de generación energética, favoreciendo la promoción del uso eficiente de la energía, así como el desarrollo de las fuentes no convencionales.

Este trabajo es el resultado de una exploración bibliográfica de diversas investigaciones realizadas referentes a la geotermia, así como los avances actuales en los ámbitos nacional e internacional, reflejando las potencialidades que hacen de este tipo de energía, una alternativa viable como fuente de generación adicional para contribuir a la satisfacción de la demanda energética en el país.

**Palabras clave:** Energía, energía convencional, geotermia, hidroeléctrica, termoeléctrica, macizo colombiano.

## Abstract

The growth of the population, as well as that of the manufacturing industry in an exacerbated manner in the last decade, put energy generation face to face in a renewable way, as a challenge to be faced by the developing countries, being also a mechanism of momentum for emerging economies and new economic models.

In Colombia, the main sources of energy generation are through hydroelectric and thermoelectric, however, due to the effects of global warming, more and more water sources with a considerable decrease in flows, added to this, the adverse effects and the great impacts generated by the constructions of this type of generation systems, highlight the need to explore other sources of production for the satisfaction of energy demand. Thermoelectric energy in turn enters into debate due to the use of the water resource, added to the generation of emissions linked to its combustion processes, mainly oil, coal and gas, making this production system an unfriendly alternative to the environment. environment and its conservation. In this way, Geothermal Energy becomes an option for energy generation, favoring the promotion of the efficient use of energy, as well as the development of non-conventional sources.

This work is the result of a bibliographic exploration of various investigations related to geothermal energy, as well as current advances in the national and international fields, reflecting the potential that make this type of energy a viable alternative as a source of additional generation for contribute to the satisfaction of the energy demand in the country.

**Keywords:** Energy, conventional energy, geothermal, hydroelectric, thermoelectric, enthalpy, colombian massif

# Contenido

	Pág.
Resumen .....	IX
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas .....	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIV
Introducción .....	1
<b>1. Capítulo 1 Generalidades .....</b>	<b>3</b>
1.1 Estado del arte de la investigación .....	3
1.2 Identificación del problema .....	3
1.2.1 Objetivos.....	5
1.2.2 Justificación .....	6
<b>2. Capítulo 2 Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
2.1 La geotermia.....	7
2.1.1 Sistemas geotérmicos .....	11
2.1.2 El Gradiente geotérmico.....	11
2.2 Demanda en Colombia de la generación de energía geotérmica.....	13
2.2.1 Etapas de un proyecto geotérmico .....	15
2.3 La geotermia en el mundo .....	18
2.3.1 Tipos de geotermia a nivel mundial .....	19
2.4 La proyección de la energía geotérmica a nivel mundial.....	29
2.5 Criterios de selección de tecnologías.....	30
2.6 La situación energética de Colombia .....	32
2.6.1 Capacidad instalada en Colombia.....	32
2.6.2 Potencial geotérmico.....	34
2.7 Una mirada hacia el futuro de cara a los retos mundiales .....	40
2.8 Proyección de la demanda energética en Colombia .....	40
2.8.1 Grandes consumidores .....	41
2.9 Regulación normativa en Colombia .....	43
<b>3. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>45</b>
3.1 Conclusiones .....	45
3.2 Recomendaciones .....	46
<b>Bibliografía .....</b>	<b>47</b>

## Lista de ilustraciones

	<b>Pág.</b>
<b>Ilustración 1.</b> Esquema de la estructura en la Tierra [2,1] .....	8
<b>Ilustración 2.</b> Movimiento de las placas tectónicas [2,1] .....	9
<b>Ilustración 3.</b> Representación esquemática de algunos sistemas geotérmicos [2.1.1] ...	12
<b>Ilustración 4.</b> Modelo geotérmico Integrado Inicial [2.2.1] .....	16
<b>Ilustración 5.</b> Modelo de la fase de exploración [2.2.1] .....	17
<b>Ilustración 6.</b> Fases para el desarrollo de un proyecto geotérmico [2.6.2] .....	39



## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Capacidad instalada por tecnología/recurso [2.6.1].....	33
<b>Tabla 2.</b> Capacidad instalada por agente (MW). [2.6.1].....	34
<b>Tabla 3.</b> Resumen de los proyectos en estado de prefactibilidad para generación de energía geotérmica [2.6.2].....	39

## Lista de elementos, unidades y abreviaturas

### Elementos Químicos

Símbolo	Nombre	Fórmula
<i>Cl</i>	Cloro	Cl <sup>-</sup>
<i>CO<sub>2</sub></i>	Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>
<i>SO<sub>4</sub></i>	Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

### Unidades de área

Símbolo	Nombre	Equivalencia
<i>ha</i>	Hectárea	10.000m <sup>2</sup>
<i>m<sup>2</sup></i>	Metros cuadrados	-

### Unidades de energía y potencia

Símbolo	Nombre	Equivalencia
<i>GW</i>	Gigavatio	10 <sup>9</sup> W
<i>MW</i>	Megavatio	10 <sup>6</sup> W
<i>mW</i>	Milivatio	0.001W
<i>mW/m<sup>2</sup></i>	Milivatio por m <sup>2</sup>	-
<i>TW</i>	Teravatio	10 <sup>12</sup> W
<i>kW</i>	Kilovatio	10 <sup>3</sup> W

### Unidades de presión

Símbolo	Nombre	Equivalencia
<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	Kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado de superficie	1Kg= 14,22 psi

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>AGL</i>	Akiira Geothermal Limited
<i>ANLA</i>	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
<i>AUC</i>	Comisión de la Unión Africana
<i>BKPM</i>	Junta Coordinadora de Inversiones de Indonesia
<i>CELEC EP</i>	Corporación Eléctrica del Ecuador
<i>CHEC</i>	Central Hidroeléctrica de Caldas
<i>COD</i>	Desarrollo de Operaciones Comerciales
<i>COP21</i>	Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático- París 2015
<i>CPC</i>	El Consejo Privado de Competitividad
<i>EGU</i>	European Geosciences Union
<i>ENEL</i>	Ente Nazionale per la Energia Elettrica
<i>FIT</i>	Fondo de Incentivos Tributarios
<i>FNCE</i>	Fuentes no Convencionales de Energía
<i>FRNC</i>	Fuentes Renovables no Convencionales
<i>GBTUD</i>	Cantidades diarias promedio mes de gas Natural
<i>GDC</i>	Compañía de Desarrollo Geotérmico de Kenia
<i>GEA</i>	Geothermal Energy Association
<i>GEI</i>	Gases Efecto Invernadero
<i>IPCC</i>	El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<i>KFW</i>	Kreditanstalt für Wiederaufbau (Fondo de Desarrollo Alemán)
<i>MYR</i>	Moneda Malasya
<i>OPIC</i>	Overseas Private Investment Corporation
<i>PCA</i>	Proceso Competitivo Abierto
<i>PEN</i>	Plan Energético Nacional
<i>PLN</i>	Empresa Estatal de Energía de Indonesia
<i>PROURE</i>	Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía
<i>TGDC</i>	Compañía de Desarrollo Geotérmico de Tanzania
<i>UPME</i>	Unidad de Planeación Minero-Energética

## Lista de gráficos

pag.

<b>Gráfico 1.</b> Potencia geotérmica - Operación y capacidad de desarrollo por región [2.3.1] .....	21
<b>Gráfico 2.</b> Energía geotérmica del sudeste de Asia Pacífico [2.3.1] .....	26
<b>Gráfico 3.</b> Energía Geotérmica en América del norte [2.3.1] .....	27
<b>Gráfico 4.</b> Energía Geotérmica en América Central y del Sur [2.3.1].....	29
<b>Gráfico 5.</b> Capacidad de la placa de potencia geotérmica internacional (MW) [2.4] .....	30
<b>Gráfico 6.</b> Capacidad de operación por tipo de tecnología hasta el año 2014 [2.5] .....	31
<b>Gráfico 7.</b> Balance energético colombiano año 2015 [2.8] .....	41
<b>Gráfico 8.</b> Evolución de la Participación Promedio Anual de los GCE en la Demanda de Energía Eléctrica [2.8.1].....	42
<b>Gráfico 9.</b> Proyección de la demanda de energía eléctrica de GCE (GWh) [2.8.1].....	43

## Lista de mapas

	<b>Pág.</b>
<b>Mapa 1.</b> Placas Tectónicas mayores [2,1] .....	10
<b>Mapa 2.</b> Localización geográfica de volcanes y terremotos [2,1] .....	10
<b>Mapa 3.</b> Densidad del flujo de calor geotérmico en Europa [2.3.1] .....	22
<b>Mapa 4.</b> Capacidad geotérmica instalada en Europa, Electricidad y Calor [2.3.1] .....	23
<b>Mapa 5.</b> Cinturón de fuego del pacífico. [2.6.2] .....	35
<b>Mapa 6.</b> Potencial Geotérmico en Colombia [2.6.2] .....	38

## Introducción

En los últimos años, la necesidad de buscar fuentes alternativas de generación de energía que sean independientes a los factores climáticos y a la variación de los combustibles fósiles, teniendo en cuenta factores como el costo y la oferta de estos, ha sido un factor determinante para el favorecimiento de la adopción de mecanismos de generación de energía a través de sistemas no convencionales (Bruni, 2014).

Sin embargo, no se puede negar que, durante los próximos años, los combustibles fósiles continuarán aportando a la generación de energía a nivel mundial, es cada vez más alta la tendencia a su disminución, basados en los compromisos asumidos por países desarrollados en la búsqueda de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. (Cadena, 2008).

En Colombia, aunque la adopción de las fuentes no convencionales de generación de energía ha sido un proceso que ha transcurrido de forma lenta, se ha diversificado la matriz energética, como el caso de la energía eólica y fotovoltaica.

No obstante, los protagonistas de los mercados energéticos del país mencionan las limitantes existentes con la regulación, al presentarse vacíos en los incentivos para el establecimiento de generación de energía con fuentes alternativas puesto que son procesos más costosos, haciendo que sean menos competitivos respecto a alternativas convencionales ya establecidas. (Cadena, 2008).

El presente trabajo es una exploración bibliográfica de las investigaciones realizadas en los últimos años tanto a nivel nacional e internacional en materia de generación con fuentes alternativas y poner de cara este tipo de energía no convencional, como una opción funcional dentro del ámbito nacional, a través del establecimiento de los mecanismos apropiados para su adopción y puesta en marcha en el país.

# Capítulo 1 Generalidades

## 1.1 Estado del arte de la investigación

En la última década, el crecimiento poblacional y su demanda en el uso de energía, hace evidente la importancia de realizar cambios significativos en los mecanismos de generación y distribución de energía, haciendo del uso de la tecnología el mejor aliado para la incorporación de sistemas renovables. Es así como cada vez existe un mayor interés en proporcionar una energía eficiente y al mismo tiempo, en equilibrio con el medio ambiente. (Ministerio de Minas y Energía, 2015). Teniendo en cuenta el agotamiento de las fuentes tradicionales de energía, la mayoría de los países en el mundo han empezado a buscar soluciones mediante la implementación de nuevas tecnologías energéticas que ayuden a minimizar los efectos ambientales que han causado las fuentes tradicionales de energía basadas en los combustibles fósiles. La Agencia Nacional de Hidrocarburos (2013) pronostica que Colombia cuenta con un periodo máximo de siete años para el uso energético, siempre y cuando se dé el encuentro de nuevos yacimientos.

Así mismo, el panorama internacional no es ajeno, si se tiene en cuenta la escala de crecimiento sostenido y el desarrollo económico de países como China e India en los últimos años, hechos que han sido consecuencia a su vez por el aumento en el suministro de energía. (Parodi, 2013).

## 1.2 Identificación del problema

La producción energética de Colombia se ha centrado en el establecimiento de hidroeléctricas y termoeléctricas, que si bien cumplen con su propósito, generan a su paso una serie de problemas ambientales cuyos efectos no sólo ocurren a corto plazo, sino que también generan eventos graduales que contribuyen cada vez más al deterioro ambiental de ecosistemas, fuentes hídricas, reservas naturales y la integridad de las poblaciones de las áreas de influencia de la ubicación de este tipo de centrales. (Isaza, 2015).

La demanda energética es directamente proporcional al crecimiento demográfico, lo que conlleva a la búsqueda de otras fuentes de generación energética no convencional dadas las altas demandas. De otro lado, los precios poco competitivos en la actualidad de los combustibles fósiles y los riesgos ambientales que confluyen al uso de los mismos ponen de manifiesto la necesidad del uso de energías amigables con el medio ambiente (UPME, 2011).

Además, el Plan de Expansión de Generación y Transmisión 2013-2027, elaborado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2013) manifiesta la necesidad de introducir nuevas fuentes de generación de energía, ello basado en la dependencia que se tiene de los sistemas hidroeléctricos y los sistemas de combustión; así plantea la urgencia de hacer uso de recursos renovables que posibiliten el acceso a la energía en las zonas más apartadas.

Dado lo anterior, y aprovechando el potencial geotérmico, de acuerdo con Isaza, (2015) se puede pronosticar que la energía geotérmica puede incluirse rápidamente mediante el desarrollo de tecnologías que sean más competitivas en términos de costos de inversión, comparadas con las energías hidrocinética y mareomotriz.

En términos de distribución de energía, las empresas de regulación del mercado y la industria energética poseen una constante dependencia de los sistemas de generación de energía mediante sistemas convencionales, en donde son las centrales hidroeléctricas y térmicas las que determinan el precio del mercado, dados las variables de oferta y demanda.

Sin embargo, factores como, el cambio climático y sus efectos en el comportamiento del clima, la regulación ambiental frente a emisiones atmosféricas cada más restrictiva y el riesgo de que se presente escases, además de los costos elevados de los combustibles fósiles, favorecen la adopción de tecnologías de generación a través de fuentes renovables no convencionales (FRNC), como por ejemplo la energía eólica, solar fotovoltaica, geotérmica y la energía hidrocinética (Isaza, 2015).

En Colombia, por ejemplo, la principal fuente de generación es a través de sistemas hidroeléctricos y térmicos, en donde puede presentarse una volatilidad debido a factores como el fenómeno del niño y las reservas de combustibles fósiles; hechos que viabilizan



la posibilidad de incorporar en mayor medida fuentes renovables no convencionales, que entren en la oferta del sector. (UPME, 2011).

La oferta energética en Colombia aún no cuenta con generación a partir de la geotermia, no obstante, la necesidad de suplir las demandas actuales y las proyectadas, además de los tratados internacionales en favor de la adopción de fuentes no convencionales, debido a los efectos del cambio climático, demuestran que es momento de ahondar en opciones que favorezcan la generación de energía de manera más sostenible, lo que abre paso al aprovechamiento de los recursos geotérmicos (Mejía, Velandia, Zuluaga, López y Cramer, 2012).

## **1.2.1 Objetivos**

### **Objetivo General**

- Determinar la importancia de la energía geotérmica como fuente de abastecimiento para satisfacer la demanda energética en Colombia, a través de la exploración bibliográfica.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar posibilidades y limitantes para la generación de energía geotérmica en Colombia
- Definir las características de la energía geotérmica como una fuente de generación no convencional y su aporte a la reducción de impactos ambientales.
- Establecer las zonas potenciales para la producción de Energía Geotérmica en Colombia.
- Comparar los avances en producción geotérmica a nivel mundial con el estado de exploración a nivel nacional.

## 1.2.2 Justificación

El Estado Colombiano ha definido en los últimos años la importancia de la adopción de prácticas más amigables con el medio ambiente, a través del establecimiento de políticas que favorezcan el desarrollo sostenible. Un ejemplo de ello es la Ley 697 de 2001, así como el Decreto 3683 de 2003 y el Plan Energético Nacional (PEN) 2010-2030, lo que confirma el compromiso en cuanto a regulación y adopción de buenas prácticas desde su sector productivo.

Dado lo anterior, es imperante la reconversión de sistemas, así como la generación de energía mediante el uso de tecnologías apropiadas y pertinentes, diferentes a las convencionales, aprovechando así el potencial de los recursos energéticos complementarios a los sectores hídricos.

En el país, los avances mayoritarios frente a energías renovables se han dado en la energía solar, la cual puede dividirse en dos: Energía Solar Fotovoltaica: aprovecha la radiación y Energía Solar Térmica, aprovecha el calor que es absorbido por un panel solar térmico o colector. (Esteve, 2011, p. 19)

Para Colombia, cuya generación es en mayor medida, a través de sistemas hidroeléctricos, los fenómenos ambientales y patrones climáticos como el fenómeno del niño, afectan en gran medida al sector eléctrico, con predominantes épocas de sequía y por consiguiente, bajos niveles de agua en embalses utilizados para generación de energía, dando como resultado una disminución de la producción energética, traducido en un incremento en el costo de la misma, debido a las fluctuaciones de oferta y demanda. (Abril, 2017).

Por consiguiente, debido al crecimiento de la demanda y la disminución de los recursos no renovables utilizados para la generación, es de suma importancia pensar en el abastecimiento a partir de otras fuentes que favorezcan el incremento de la oferta energética y a su vez, la optimización en el uso de recursos. (Abril, 2017).

## Capítulo 2 Marco teórico

### 2.1 La geotermia

La geotermia puede definirse como el calor que es producido internamente en la tierra y se transfiere a la superficie. (Marzolf, 2014). Las principales fuentes del calor existente en las capas internas de la tierra son los sedimentos calientes presentes en los acuíferos, los cuales pueden encontrarse a profundidades de entre 2 y 3 km aproximadamente, en donde pueden encontrarse temperaturas que oscilan entre 70 y 100 °C. (Zaman, Hamidreza, Marinus, David, 2017).

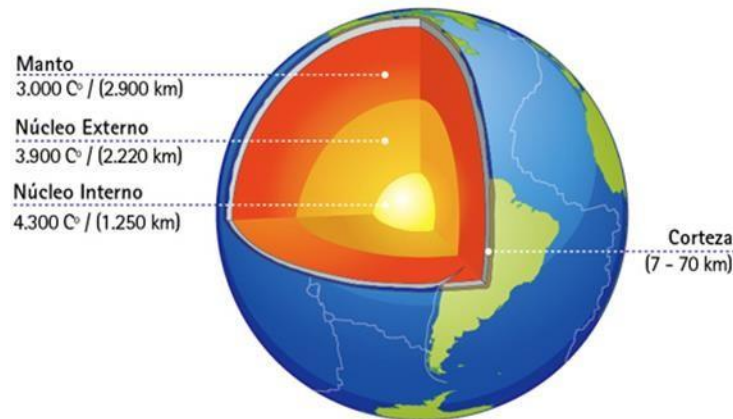
Generalmente, las zonas propicias para el aprovechamiento de este tipo de calor son las zonas cercanas a los volcanes, en donde las altas temperaturas, generadas por la conservación del calor de las rocas, hacen que el agua se caliente y posteriormente, se infiltre en el subsuelo. Así, en la superficie, puede evidenciarse a través de los manantiales termales que descargan agua caliente y vapor. Este calor generado por la geotermia puede ser aprovechado para:

- Generación de energía eléctrica
- Baños medicinales
- Calefacción
- Turismo y recreación
- Agricultura y piscicultura.
- Actividades industriales.

La ilustración 1 muestra la estructura interna en la tierra, lo cual puede ayudar a comprender las propiedades calóricas que existen al interior de ella.

Etimológicamente, Geotermia es una palabra de origen griego, derivada de “geos” cuyo significado es tierra, y de “thermos” que significa calor: el calor de la Tierra. Así, es utilizada para definir tanto a la ciencia que estudia las anomalías de temperatura interna de la tierra, como a la variedad de procesos industriales que investigan ese calor para producir energía eléctrica y/o el calor útil a la humanidad (Llopis y Rodrigo, 2008).

**Ilustración 1.** Esquema de la estructura en la Tierra [2,1]



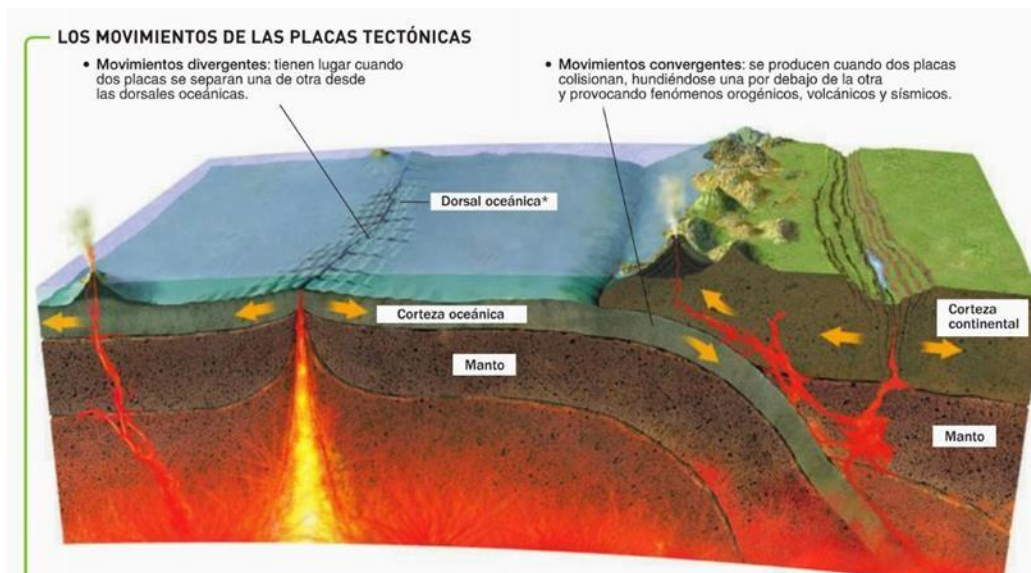
Fuente: Energía Andina

Así, Farietta, 2014 define a la energía geotérmica como una energía de tipo termal, que se presenta por la permanencia de un flujo de calor desde el centro de la tierra, que fluye a través del manto y posteriormente, hacia la superficie terrestre, producto de los procesos naturales o no naturales que se dan porque se acumula el calor y se calienta el subsuelo.

La deriva continental es el fenómeno causado por el flote de la corteza terrestre sobre el manto; se desplaza sobre éste, generando dicha anomalía la cual, es a su vez, la razón por la que se chocan las placas continentales y marinas, como lo describe la ilustración 2. Por tal razón, se da la subducción, haciendo que se deslice la placa oceánica por debajo de la capa continental.

Por consiguiente, los lugares que se encuentran cerca al contacto entre las placas continentales y del mar se da origen a velocidades volcánicas altas porque asciende el magma de forma líquida, generado movimientos geológicos y dando origen al levantamiento de las cordilleras. (Marzolf, 2014).

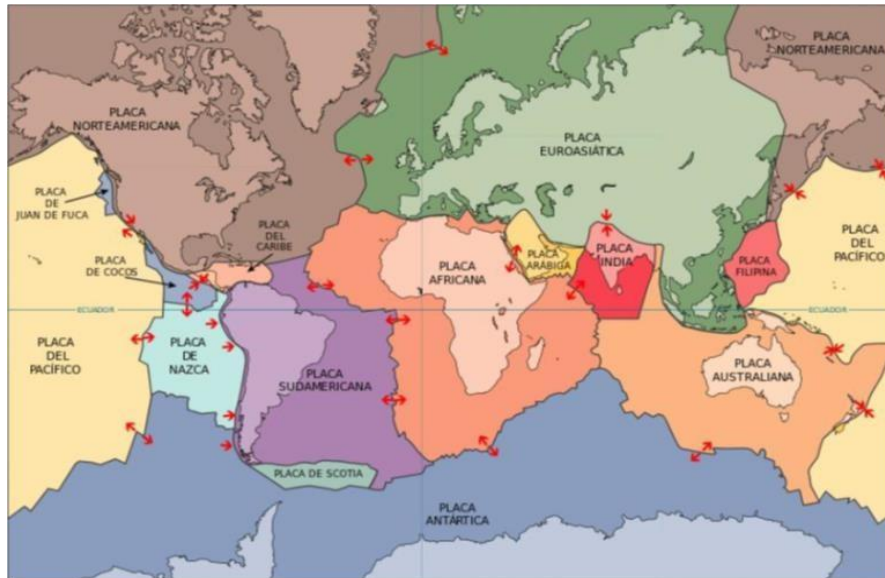
## Ilustración 2. Movimiento de las placas tectónicas [2,1]



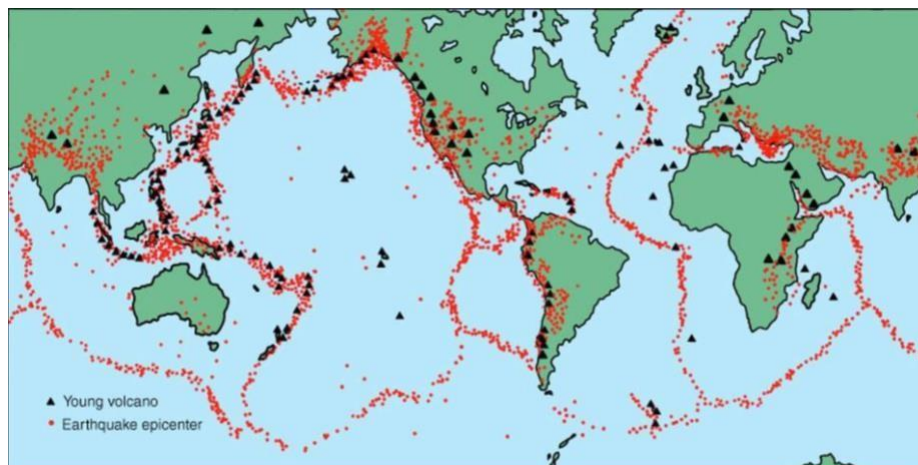
Fuente: Explora, Gobierno de Chile

Para entender e identificar las zonas en donde puede aprovecharse el recurso geotérmico, se requiere ahondar en los fenómenos de sismicidad, en los procesos naturales, (Biggs et al., 2011; Lu et al., 2010), así como también en las intervenciones antropogénicas, las cuales pueden causar cambios en las características de las condiciones de los suelos, y por lo tanto en las manifestaciones geotérmicas. (Abril, 2017, p. 42).

El mapa 1 presenta una ilustración de las placas tectónicas mayores, las cuales son 15. Así mismo, el mapa 2 ilustra la localización de volcanes en los diversos continentes.

**Mapa 1.** Placas Tectónicas mayores [2,1]

Fuente: USGS - Versión en español

**Mapa 2.** Localización geográfica de volcanes y terremotos [2,1]

Fuente: Servicio de datos e Información Ambiental de la NOAA; datos geodésicos y costeros

---

### 2.1.1 Sistemas geotérmicos

Un sistema geotérmico es el conjunto de roca caliente que puede hallarse a una profundidad de entre 4 y 5 km de profundidad de la superficie de la tierra, la cual acumula energía que puede ser aprovechada para diversos fines con el apoyo de la tecnología. (Olásolo, 2013). Los sistemas geotérmicos, son definidos por Marzolf (2014) como elementos naturales que pueden existir en una misma área, y posibilitan la extracción de calor, cuyos componentes principales son:

- Fuente de calor: La fuente de calor puede ser; un complejo de roca con alto calor por constante contacto con un sistema volcánico, también pueden ser gases a altas temperaturas de origen magmático. En general, la fuente de calor posee temperaturas más altas de los 600 °C.
- Reservorio geotérmico: Es una formación de rocas en donde puede haber paso de agua o fluido, en donde el calor puede ser explotado a bajas profundidades, lo que resulta más económico para los sistemas de generación.
- Sistema de suministro de agua: Es un sistema de roca fracturada, que posibilita la recarga del reservorio geotérmico con el agua infiltrada en el subsuelo.
- Capa sello: Es la roca impermeable, en general con presencia de arcillas, resultantes de la alteración de las rocas por la exposición o contacto por alta temperatura, evitando pérdida de agua y vapor.
- Fluido geotérmico: Se le define fluido geotérmico al agua líquida, al vapor o la combinación de estos, que se halla en el reservorio geotérmico y que se manifiesta en la superficie a través de pozos geotérmicos o manantiales. Los fluidos por lo general presentan contenidos de sustancias química disueltas como cloruros (Cl), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfatos (SO<sub>4</sub>) y sales minerales.

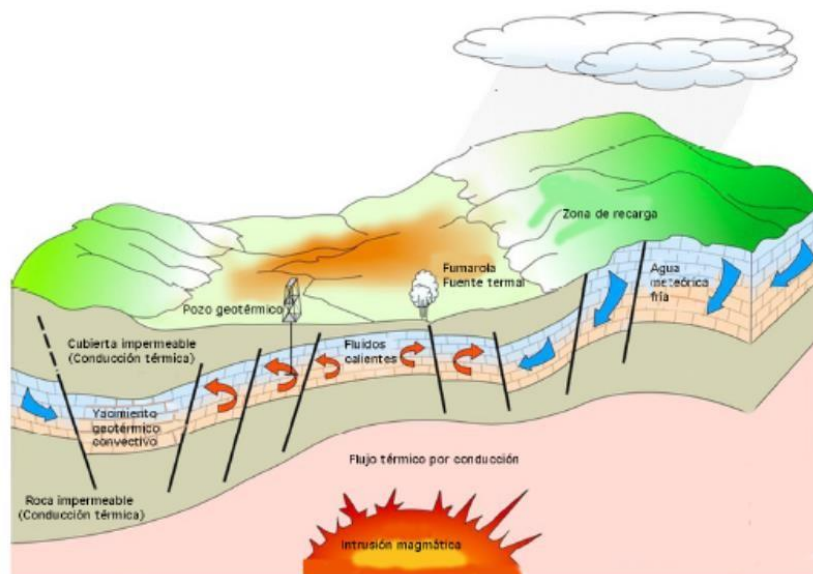
### 2.1.2 El Gradiente geotérmico

Para hablar de gradiente geotérmico es preciso mencionar que el término se refiere al cómo varía la temperatura con relación a la profundidad de la corteza terrestre, la cual puede estar relacionada con la presencia de elementos químicos radiactivos en las rocas. (Matiz, 2018). Así pues, los factores que pueden influir en el gradiente geotérmico son:

- La capacidad de conducir calor que tengan las rocas (mientras más conductividad térmica tengan las rocas, habrá menor gradiente geotérmico).
- Las reacciones químicas que hayan en mayor grado en la zona (endotérmicas y exotérmicas)
- La existencia y cantidad de elementos radiactivos, que emanan calor al desintegrarse, incrementando el gradiente geotérmico y disminuyendo el grado geotérmico
- La cercanía con rocas eruptivas no se encuentra consolidadas todavía, pero proveen gran cantidad de calor.
- Otros factores influyentes son:
  - La presencia de aguas termales en el área de interés.
  - La distancia de la zona de interés a las áreas oceánicas.

Por lo general, en zonas normales para la obtención de una temperatura de 150°C, se requieren alcanzar profundidades de 4000m. No obstante, en zonas donde el flujo es anómalo, se presentan temperaturas entre 200°C y 300°C a profundidades relativamente bajas (1500-2500m). (Fernández, 2015). La Ilustración 3, realiza una representación algunos sistemas geotérmicos en la tierra.

**Ilustración 3.** Representación esquemática de algunos sistemas geotérmicos [2.1.1]



Fuente (Dickson y Fanelli, Energía Geotérmica)



---

Así pues, un yacimiento geotérmico está constituido por tres elementos principales:

- Una fuente de calor que posee alta temperatura.
- Un volumen de roca que permite el paso del agua y se puede extraer calor.
- Un fluido geotérmico que es el medio que transfiere el calor.

## **2.2 Demanda en Colombia de la generación de energía geotérmica**

El aprovechamiento del calor generado en la profundidad de la tierra consiste en la perforación de pozos para extraer el fluido, que es el que transporta la energía desde las rocas calientes. Así, la superficie, el fluido se separa en la fase de vapor y es conducido hacia una planta de generación eléctrica; allí es transformada de energía calórica a energía eléctrica. Generalmente, la fase líquida, es decir el agua fría, se reincorpora o reinyecta al reservorio geotérmico.

Fernández, (2015) expresa que de acuerdo con el reservorio geotérmico que se presente, se determina el tipo de planta geotérmica de generación de electricidad, característica que es determinante, en términos de temperatura presente, presión del fluido y cuál es la fase predominante (fase líquida o vapor).

Los sistemas geotérmicos se pueden encontrar en:

- Regiones que presentan un gradiente geotérmico normal o un poco elevado caracterizados por bajas temperaturas, las cuales son por lo general inferiores a 100°C, a profundidades de 2-3 km.
- Zonas que se encuentran bordeando las placas tectónicas; en estos sitios el gradiente geotérmico es más alto que el rango promedio, desde bajas temperaturas hasta los 400°C.

En cuanto a los sistemas hidrotérmicos, estos presentan cinco características, que definen en gran medida, el tipo de tecnología usada para la generación energética, así:

- Según su entalpía: Proporciona un estimativo de la cantidad de energía contenida en los fluidos geotérmicos y que es la forma mediante la cual es transportada desde las rocas calientes hasta la superficie.

Una vez definidos estos criterios, se puede concluir entonces que los recursos geotérmicos se dividen de acuerdo a su temperatura en yacimientos de baja, media y alta entalpía:

- ✓ Yacimientos de baja entalpía:  $T < 100^{\circ}\text{C}$
  - ✓ Yacimientos de media entalpía:  $100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$
  - ✓ Yacimientos de alta entalpía:  $T > 150^{\circ}\text{C}$
- 
- Según el estado físico del agua: Cuando el agua se presenta de forma líquida con temperaturas que oscilan entre  $40^{\circ}\text{C}$  y  $400^{\circ}\text{C}$  y presiones entre 3 y 10  $\text{kg}/\text{cm}^2$  al mismo tiempo predomina el vapor, estos sistemas a su vez presentan altas entalpías con gran contenido energético, de aproximadamente 600 Kcal/kg.
  - Sistemas con predominio de agua. - Contienen gran cantidad de impurezas y sales disueltas. Para la explotación en este tipo de sistemas, aún no se cuentan con técnicas muy definidas, puesto que las investigaciones se han concentrado de los métodos de perforación y cómo circular el agua.
  - Sistemas geo presurizados: En estos sistemas, el fluido se encuentra bajo grandes presiones, debido al peso de las rocas que se encuentran por encima de él. Los sistemas geo presurizados, cuentan con energía que se almacena en forma de calor. El calor que contienen este tipo de sistemas está en el orden de entre  $100^{\circ}\text{C}$  a  $180^{\circ}\text{C}$  a distancias de 2 a 6 km de profundidad.
  - Sistemas de roca caliente: Para estos sistemas, el agua se bombea a presiones altas mediante pozos hasta un sistema de rocas con altas temperaturas, lo que hace que

causa el fracturamiento del sistema. De este modo, el agua pasa por las fracturas y extrae el calor de las rocas. Estos sistemas son complementados por otros pozos utilizados para extraer el agua que se calienta; en algunos casos se utilizan intercambiadores de calor que se ubican en el fondo del pozo, de manera tal que permite recibir el calor de la roca y enviarlo al exterior.

## **2.2.1 Etapas de un proyecto geotérmico**

### **Fase de Exploración Superficial**

Esta fase lleva a cabo estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos que permiten obtener datos de la superficie del terreno, pero sin generar intervenciones mayores al área. Los resultados de los estudios realizados son los que posibilitan la construcción de un modelo geotérmico, favoreciendo el desarrollo de las demás etapas en la zona de interés. (Fernández, 2015). La Ilustración 4 muestra un esquema de esta etapa.

Por su parte, la exploración geoquímica se basa en determinar la clase de fuentes termales mediante la recolección de muestras de agua, y los gases presentes para identificar el contenido químico presente en el reservorio geotérmico. De otro lado, el trabajo geofísico consiste en determinar las características de las rocas, como la gravedad, el magnetismo, entre otros, que puedan dar utilidad a la determinación del tipo de reservorio presente.

**Ilustración 4.** Modelo geotérmico Integrado Inicial [2.2.1]

Fuente: Energía Andina

### Fase de Exploración Profunda

Radica en perforar pozos a diferentes profundidades, esto basados en las condiciones del reservorio geotérmico, lo que resulta determinante al momento de definir la profundidad a utilizar. Principalmente, su objetivo es demostrar que hay presencia de condiciones favorables para un fluido geotérmico que pueda ser explotado y así, poder generar posteriormente energía eléctrica.

Existen así diversos tipos de perforaciones con pozos poco profundos, de entre 300 y 1.000 m, así como también pozos altamente profundos, con longitudes entre 1.000 y 3.000 m. La ilustración 5 presenta un esquema de cómo se realizan las exploraciones.

### Ilustración 5. Modelo de la fase de exploración [2.2.1]



Fuente: Energía Andina

### Fase de Explotación

Esta es la etapa en la que, una vez cumplidas las fases de exploración superficial y profunda, se lleva a cabo la extracción del fluido, el cual es conducido mediante tuberías denominados vapoductos hasta la planta geotérmica para generar así la energía a través del vapor, que es llevado hasta las turbinas, haciendo que estas se muevan a gran velocidad. Así, la generación de la electricidad se da una vez las turbinas mueven el generador de la planta.

El vapor, después del paso por las turbinas, se condensa y se reinyecta al reservorio, favoreciendo la sostenibilidad del sistema geotérmico. La existencia de plantas de generación de tipo binario favorece además que no se generen emisiones atmosféricas, por lo que convierte a este tipo de generación en una opción altamente sostenible comparado con otros sistemas de generación, en donde los gases efecto invernadero sí se generan en cantidades considerables y se emiten a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global. (Olásolo, 2013)

## 2.3 La geotermia en el mundo

Históricamente los años 70's mostraron las consecuencias para las fuentes de producción dependientes del petróleo, generando una crisis económica por la escasez de las fuentes de generación, desencadenando además altas cifras de desempleo en los países desarrollados. Como consecuencia de ello, se incrementó el interés en otras fuentes de generación de energía, principalmente las no convencionales, abriendo paso entre ellas, a la energía geotérmica. (Abril, 2017).

En los últimos 10 años, el ahorro de energía se elevó a 352 millones de barriles (52,8 millones de toneladas) de petróleo cada año, evitando emitir 46,1 millones de toneladas de carbono y 149,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, favoreciendo la disminución de los gases efecto invernadero (Lund y Boyd, 2015).

El uso de energía geotérmica ha estado cada vez más en la mira de los países, considerando factores de eficiencia energética, sostenibilidad y mejora ambiental, ello ha abierto paso a la creación de organizaciones especiales con miras al conocimiento referente a la geotermia, tal es el caso de GEOLAC, (Geotermia para Latinoamérica y el caribe), IBID (Innovación Lab, Banco Interamericano de Desarrollo) WGC, (Congreso mundial geotérmico), siendo este último el más protagónico, ya que realiza constantemente actualización en temas estadísticos en geotermia a nivel mundial.

Rosland, Basmoen y Suin (2016) en el marco de la 8ª Conferencia Internacional de Energía Aplicada – ICAE 2016, mencionan el crecimiento de la demanda energética a nivel mundial y su tendencia a aumentar. Es necesario entonces para abastecer a la creciente población, en aras de satisfacer las necesidades, fijar la mirada en el uso de energías renovables por encima de las no renovables.

De acuerdo con el comportamiento actual en los sectores económicos y productivos, el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumentará, por lo que una fuente de energía que vale la pena considerar en un proceso hacia una energía más sostenible y renovable es la obtenida a partir de la geotermia, que depende de la extracción de calor del subsuelo. El calor geotérmico tiene un enorme potencial de energía, por lo tanto, se espera un rendimiento confiable y constante. La capacidad de la tierra para reemplazar el calor perdido hace que el recurso sea renovable. (Rosland et al., 2016).

Una desventaja de la aplicación de la energía geotérmica radica en que los costos de producción pueden ser altos, esto debido a los sistemas de extracción y perforación, requieren de condiciones específicas y de períodos de tiempo con mayor durabilidad. Así, el desafío principal con la industria está relacionado con el capital, de cara a los costos de perforación de los pozos geotérmicos y, por lo tanto, es interesante la introducción de pozos de petróleo abandonados (Rosland et al., 2016).

En la investigación llevada a cabo por (Rosland et al., 2016) en pozos de petróleo abandonados como potenciales fuentes de extracción de energía geotérmica, definieron las cantidades de calor extraídas debajo de la superficie, a través de la adaptación de una tubería intercambiadora de calor y mediante un modelo matemático, compararon la temperatura de los flujos extraídos y la temperatura circundante para establecer así, el calor acumulado extraído de los pozos geotérmicos.

De acuerdo con los estudios y procedimientos adelantados, se pudo concluir que el aspecto económico de un proyecto de energía geotérmica se beneficiaría si se da uso a los pozos petroleros abandonados; de este modo se determinó que las temperaturas alcanzadas, (rangos de entre 70 y 80° C) son capaces de operar una planta de energía de ciclo binario.

### **2.3.1 Tipos de geotermia a nivel mundial**

Los tipos de tecnologías convencionales de energía geotérmica son: vapor seco, flashy binario. En las plantas de vapor seco, el vapor de alta presión natural se dispara desde el depósito de vapor seco y se utiliza para hacer funcionar las turbinas que alimentan el generador. En las plantas flash, el vapor se separa de los fluidos geotérmicos de alta presión y alta temperatura (agua caliente y vapor). (Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, 2016, p.18).

El vapor se envía a una turbina que alimenta un generador. El líquido (condensado del vapor después de pasar a través de la turbina) y el agua geotérmica restante se vuelven a inyectar en el depósito. En plantas binarias u ORC (es decir, ciclo de Rankine orgánico), el calor se transfiere desde el agua caliente a un fluido de trabajo orgánico que tiene un punto de ebullición menor que el punto de ebullición del agua. (Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, 2016, p.18).

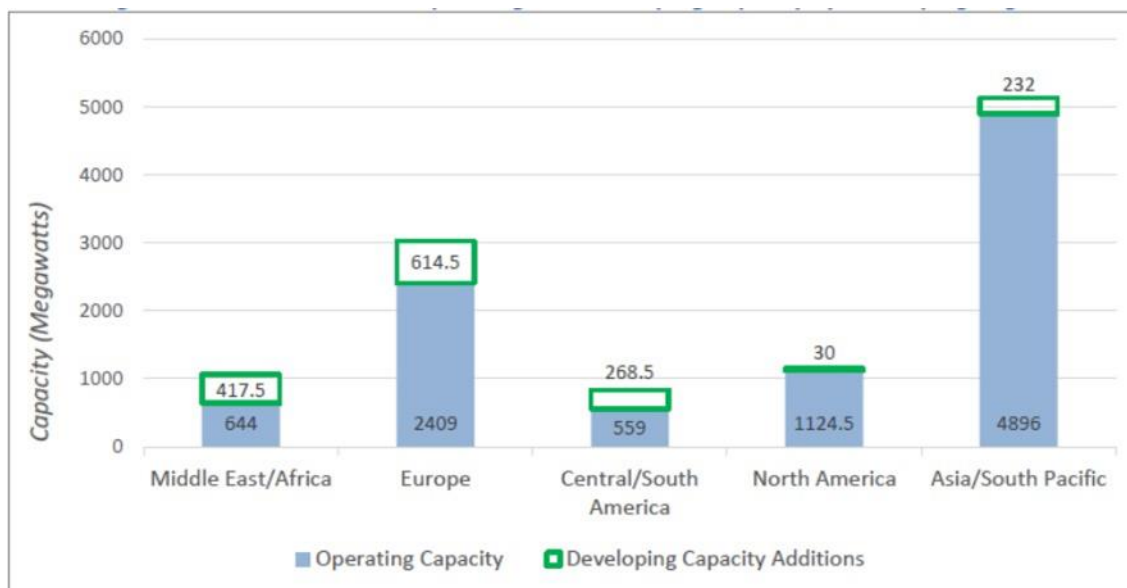
El fluido de trabajo se vaporiza para hacer funcionar la turbina. Nunca se permite que el agua geotérmica llegue a la atmósfera: el 100% se inyecta de nuevo en el depósito. En todos los sistemas, el fluido inyectado nunca se permite mezclar con el sistema de aguas subterráneas poco profundo. (Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, 2016, p.18).

Los países en desarrollo de América Central, el Caribe, el suroccidente de Asia y Sur el Pacífico están incrementando su desarrollo geotérmico a través de incentivos estatales más atractivos y legislación geotérmica específica. Varios nuevos países como Croacia, Irán y Malasia están ingresando al mercado geotérmico con proyectos piloto en preparación en los próximos cinco años. Estos países entienden que agregar energía geotérmica a su red puede reducir su dependencia de recursos de energía finitos, reducir la incertidumbre económica y geopolítica futura, y beneficiar la salud general de su entorno y las personas que lo habitan. (Geothermal Power: International Market Update, 2016, p.6).

No son solo las naciones industrializadas las que se están dando cuenta de los innumerables beneficios de invertir en energía geotérmica. Gracias a sus planes energéticos multianuales, Francia espera que su mercado geotérmico despegue en los próximos años, ya que ha establecido un hito de 53 MW de generación de energía a altas temperaturas para 2023. (Geothermal Power: International Market Update, 2016, p.7).

Un proyecto para intercambiar energía entre Islandia y Gran Bretaña a través de un cable de alimentación submarino se encuentra actualmente en sus etapas de viabilidad. Si el proyecto de cable va a seguir adelante, se estima que se necesitarán casi 1 GW de nuevas plantas geotérmicas en Islandia durante las próximas dos décadas para satisfacer la creciente demanda. Muchas naciones desarrolladas se están dando cuenta de que la energía geotérmica es una poderosa fuente de energía de carga base para cerrar las brechas dejadas por otras energías renovables. Esto será más vital a medida que los países trabajen para reducir sus emisiones de carbono y cumplir sus promesas en virtud del acuerdo climático COP21 de París. (Geothermal Power: International Market Update, 2016, p.7). El gráfico 1 presenta el balance de capacidad de potencia geotérmica en operación y proyección.

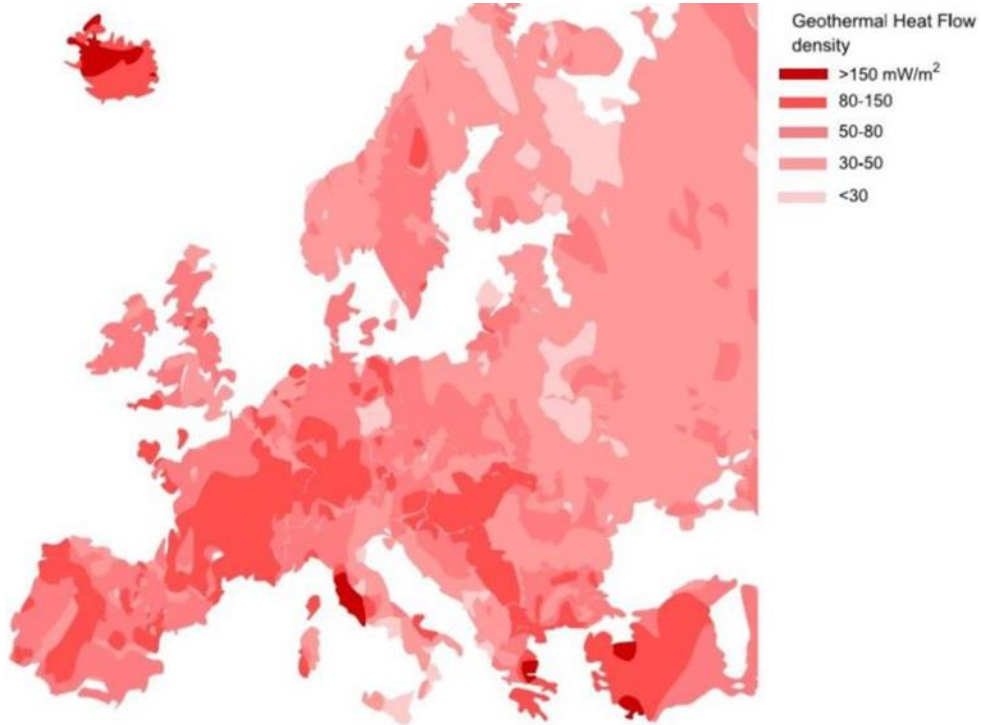


**Gráfico 1.** Potencia geotérmica - Operación y capacidad de desarrollo por región [2.3.1]

Fuente: Asociación de energía geotérmica, 2016

### ***Geotermia en Europa***

La mayor densidad de flujo (>150mW/m<sup>2</sup>) se encuentra principalmente al sur de Europa; en áreas Grecia, Turquía e Italia. Para comprender estas anomalías, es necesario mencionar que a lo largo de la historia la placa africana ha confluido con la frontera sur de la placa Euroasiática. La Unión de Geociencias de Europa (EGU) mencionó que este proceso en la actualidad ha finalizado y ahora hay presencia de una zona de subducción relativamente joven, lo que es catalogado como un evento extraordinario, cuya ocurrencia se da por debajo del mar Mediterráneo. (Abril, 2017, p.42). En el mapa 3, se realiza una localización de las densidades de flujo en el continente europeo.

**Mapa 3.** Densidad del flujo de calor geotérmico en Europa [2.3.1]

Fuente: Colmenar A; Folch M; Rosales A; The Geothermal Potential in Spain.2015

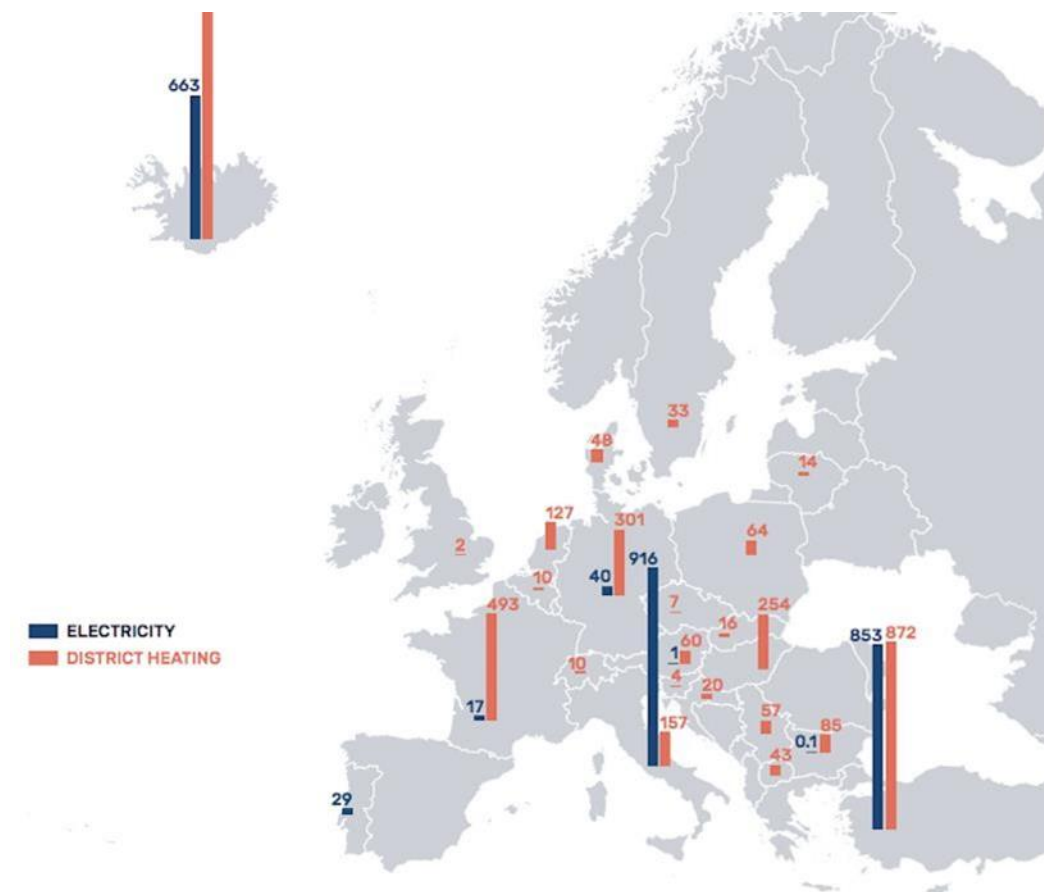
En su informe anual del año 2017, el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC) evaluó el desarrollo del sector geotérmico para el continente, informando que durante el período comprendido entre los años 2012 y 2016 el consumo de la energía geotérmica aumentó sustancialmente, principalmente para la generación de calefacción.

En Europa, existen cerca de 100 plantas geotérmicas con una capacidad instalada que suma 2,5 GW en 2016 (de los cuales 1 GW está en la EU), generando cerca de 15 TW de energía eléctrica al año. Se cree que la capacidad instalada en el continente crecerá en cerca de 3 GWe al año 2020, estando este crecimiento relacionado al rápido crecimiento de Turquía.

Entre 2012 hasta 2016, entraron 51 nuevas plantas en operación (todas ellas en la Comunidad Europea), lo que representa un crecimiento anual del 10%. La capacidad

instalada total en Europa alcanza cerca de 4.8 GW, siendo Francia, Holanda, Alemania y Hungría, los principales mercados durante los próximos años, como lo ilustra el mapa 4.

**Mapa 4.** Capacidad geotérmica instalada en Europa, Electricidad y Calor [2.3.1]



Fuente: EGENC

### ***Geotermia en Medio Oriente y África***

A partir de septiembre de 2016, Irán, Kenia y Turquía están desarrollando proyectos geotérmicos con cuatro plantas en construcción y un estimado de 317.5 MW de PCA. Irán está penetrando en el mercado geotérmico con una planta piloto clave de 5 MW que se está construyendo en la región de Meshkin Shahr, cerca de la base del monte Sabalan. Irán está buscando la ayuda de los ingenieros consultores KML de Nueva Zelanda para realizar un estudio de prefactibilidad de la zona. Esta es una gran oportunidad para que Irán diversifique su cartera energética lejos de los combustibles fósiles.

Actualmente, Kenia está perforando su central binaria Akiira One en dos fases de 70 MW, y se espera que la primera fase esté en funcionamiento en diciembre de 2018. Akiira Geothermal Limited (AGL) solicitó la ayuda de GeothermEx para estudios exploratorios y de prefactibilidad del Valle de Akiira. El costo para la construcción total de la planta se estima en US \$ 300 millones. El 30% de esto se obtendrá de los accionistas, mientras que el 70% restante se tomará prestado de Standard Bank. AGL también recibió una subvención de US \$ 1 millón de Overseas Private Investment Corporation (OPIC) en octubre de 2014 para cubrir sus gastos legales y técnicos. La Comisión de la Unión Africana (AUC) también otorgó una donación de US \$ 1.3 millones para financiar trabajos de perforación exploratoria. (Richter, 2016).

El proyecto Akiira One también está financiado en parte por la iniciativa Power África del gobierno de Estados Unidos, que apunta a explotar la energía renovable en África. La Compañía de Desarrollo Geotérmico de Kenia (GDC) espera comenzar el desarrollo de una nueva planta de energía geotérmica en el sitio Suswa, con un PCA generoso de 150 MW. El gobierno italiano se ha comprometido con el fondo como parte del proyecto, y la GDC ya recibió 475 millones de dólares en préstamos y donaciones de varias agencias de desarrollo. La Ley de Energía de Kenia de 2006 creó más instituciones especializadas para el sector energético, ya que todas las funciones del sector energético se habían centralizado previamente dentro del Ministerio de Energía del país. (Richter, 2016). Tanzania ha anunciado planes para generar 100 MW a partir de fuentes geotérmicas dentro de los próximos siete años, por lo que está en camino de alcanzar su meta de 100 MW de capacidad instalada para 2025 como parte de Tanzania Development Vision.

Recientemente se ha establecido que existe un potencial bruto estimado de más de 5.000 MW de electricidad en el país. El gobierno tanzano estableció la Compañía de Desarrollo Geotérmico de Tanzania (TGDC), una agencia estatal para facilitar el desarrollo de los recursos geotérmicos del país. Sin embargo, el marco regulatorio para la energía geotérmica aún no está bien desarrollado, sin una legislación o política geotérmica específica actualmente en vigencia. (Richter, 2016).

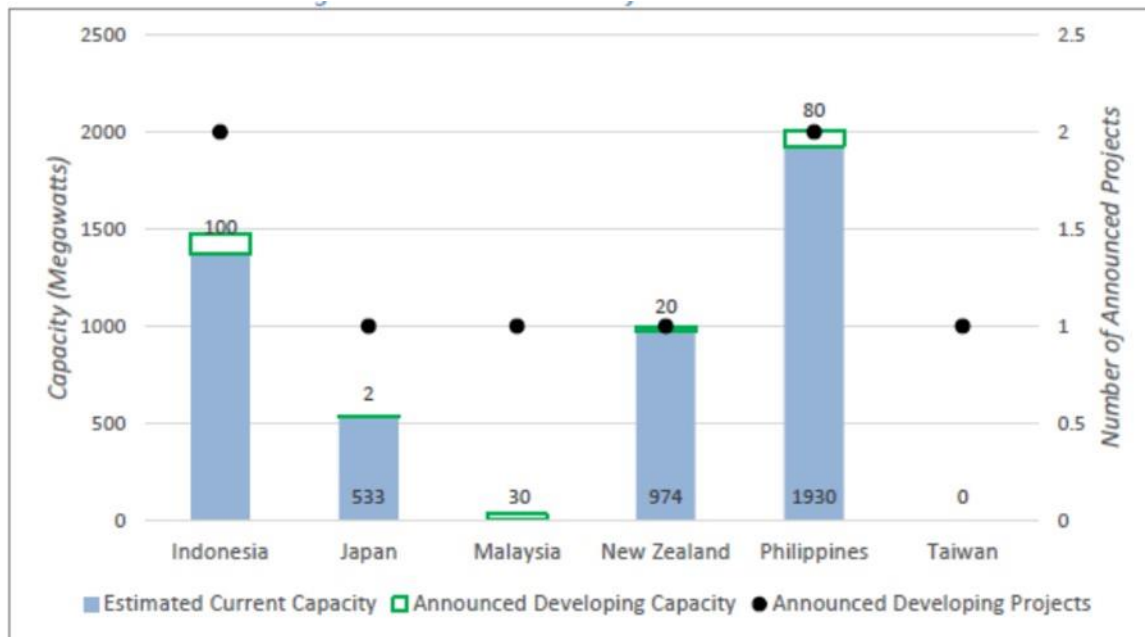
---

### ***Geotermia en el Sur de Asia y el Pacífico Oriental***

Aunque el crecimiento de la capacidad de desarrollo se ha desacelerado en el sudeste de Asia y las regiones del Pacífico Sur desde marzo de 2016 (212 MW añadieron PAC), es emocionante ver a Malasia entrar en el mercado con el anuncio de su proyecto geotérmico piloto. Tawau Green Energy tomó la iniciativa de desarrollar la primera planta geotérmica de Malasia en Apas Kiri-Tawau. La planta binaria de 30 MW utilizará turbinas de Exergy y se espera que alcance la fecha de operación comercial (COD) en junio de 2018. En mayo de 2015, se anunciaron los niveles de FIT para las plantas geotérmicas de Malasia. Las plantas de hasta 30 MW son elegibles para FIT de MYR 0.45 / kWh.IC. (International Development Interim Report, 2016).

La perforación exploratoria para la nueva planta geotérmica de Taiwán comenzó en agosto de 2016 y llevará 6 meses completarla. China National Petroleum Corporation, la Universidad Nacional de Taiwán y el Instituto de Investigación de Tecnología Industrial participarán en el desarrollo de la planta binaria en Sanxing. Un PAC oficial aún no ha sido anunciado por los desarrolladores. De conformidad con la Ley de Desarrollo de Energías Renovables de Taiwán, el gobierno eximirá a los desarrolladores que importan maquinaria de los derechos de aduana. El gobierno también proporciona subsidios de hasta el 50% de los costos de exploración o no excede los TWD 50 millones. (International Development Interim Report, 2016).

El Gobierno de Indonesia está preparando un mecanismo FIT para ayudar a los desarrolladores geotérmicos con la esperanza de aumentar el desarrollo en el país. La nueva tarifa adoptará un sistema de precio fijo en el que los proveedores de energía no necesitan negociar con la empresa estatal de electricidad PLN como principal fuente de energía. Este nuevo mecanismo está dirigido a plantas de energía que se encuentran dentro del rango de capacidad de 5 a 220 MW. Además, el Ministerio de Energía y Recursos Minerales de Indonesia está trabajando en una nueva legislación que significaría que la industria geotérmica tendría derecho a servicios de inversión prioritarios. Los inversores también podrán obtener los permisos necesarios en un plazo de tres horas en la Junta Coordinadora de Inversiones (BKPM), un privilegio que otras industrias en el país ya tienen. (International Development Interim Report, 2016). En el gráfico 2 se presenta la capacidad instalada de generación de energía geotérmica en el sudeste asiático.

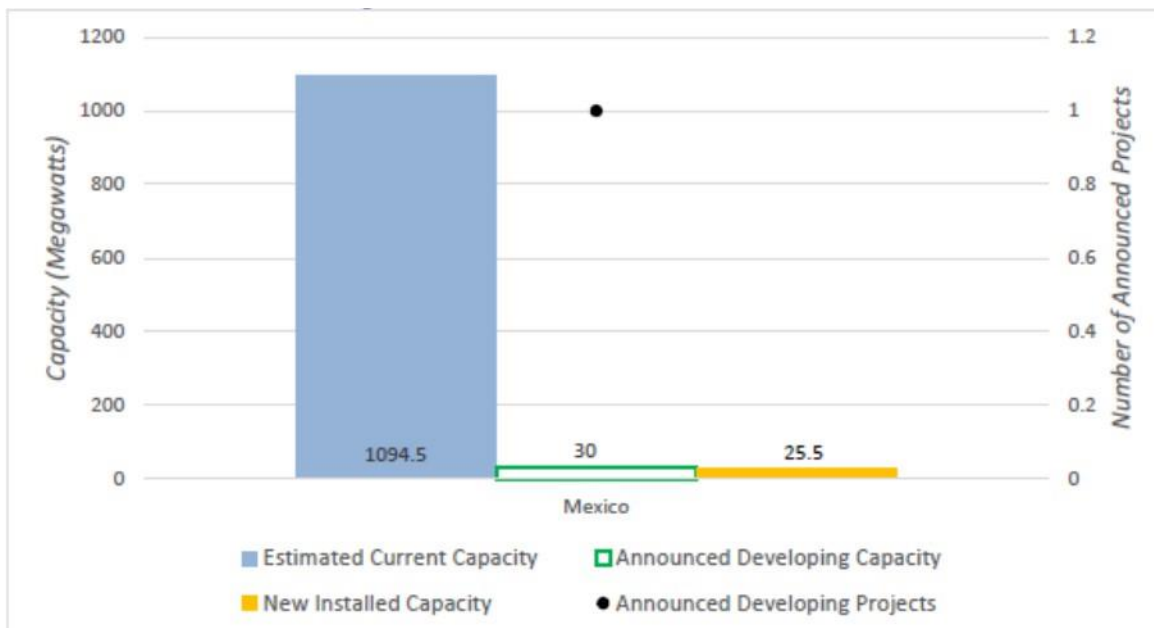
**Gráfico 2.** Energía geotérmica del sudeste de Asia Pacífico [2.3.1]

Fuente: Asociación de energía geotérmica, 2016

### **Geotermia en Norteamérica**

El futuro del desarrollo de la energía geotérmica en México se ve bien con el anuncio de la primera concesión geotérmica privada del país en Domo de San Pedro. El desarrollador Grupo Dragon puso en marcha la planta a fines de abril de 2016, conectando 25.5 MW a la red. La licencia para el proyecto es de 30 años e incluye 18 pozos de producción a una profundidad de hasta 3.500 metros y dos pozos de reinyección de agua. El consorcio Mexxus RG, con sede en México, anunció planes para su planta Ceboruco de 30 MW en el estado de Nayarit. (International Development Interim Report, 2016, p.12). El gráfico 3 presenta la capacidad instalada de generación en Norteamérica y su proyección.

**Gráfico 3.** Energía Geotérmica en América del norte [2.3.1]



Fuente: Asociación de energía geotérmica, 2016<sup>1</sup>

La reforma constitucional en 2013 puso fin al monopolio estatal sobre la generación de energía. La legislación energética actualizada significa que la energía geotérmica se puede comprar en el mercado mayorista. Desafortunadamente, México no tiene ningún tipo de esquema FIT o incentivo fiscal para el desarrollo de las energías renovables, lo que significa que existe una competencia directa de precios con las plantas de combustibles fósiles.

<sup>1</sup> El gráfico 3 compara la capacidad geotérmica instalada actual con la "capacidad de desarrollo anunciada". La "capacidad de desarrollo anunciada" es la capacidad estimada de la planta generadora para sitios específicos por una empresa privada, agencia gubernamental o contratista asociado con el sitio. Los datos de América del Norte no incluyen a los Estados Unidos en este informe.

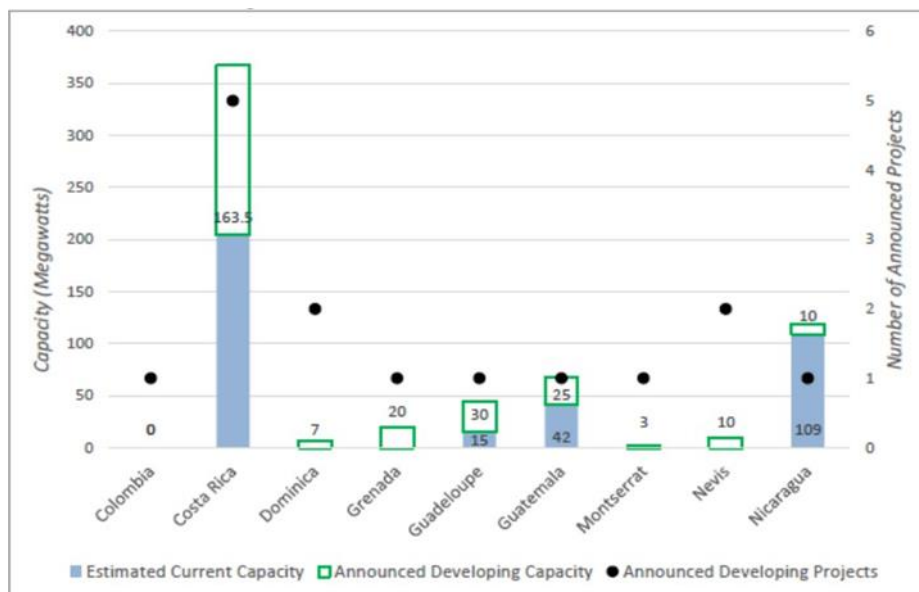
---

***Geotermia en Centro y Suramérica***

América Central, del Sur y el Caribe han visto un aumento aproximado del 87% en los proyectos geotérmicos anunciados en los últimos meses del año 2015, con PCA (Proceso Competitivo Abierto) de 268,5 MW. Costa Rica está acelerando su desarrollo geotérmico con dos plantas en proceso, una extensión en Las Pailas y el nuevo desarrollo de Borinquen. Cuando se completen, las plantas agregarán 165 MW en capacidad operativa para el año 2024. Además, Polaris Infrastructure anunció que agregará un pozo de 10 MW a su planta de San Jacinto-Tizate en Nicaragua. El financiamiento parcial de la Agencia de Desarrollo Comercial de los Estados Unidos (USTDA) y la experiencia de Dewhurst Group, LLC, facilitaron a la empresa colombiana de servicios públicos EPM finalizar y publicar su estudio de factibilidad para el proyecto Nevado Del Ruiz. El informe se completó durante el año 2016. (International Development Interim Report, 2016, p.11).

Actualmente, en Centroamérica y Sudamérica, 10 países han sido seleccionados para el desarrollo a través del sector financiero, particularmente el Fondo de Desarrollo Geotérmico de KfW para América Latina, proporcionará mitigación de riesgos para estudios de superficie y fases de perforación de confirmación. La ronda inicial proporcionará 50 millones de euros y más fondos en los años siguientes. Los 10 países son: Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Perú. Esto proporcionará un vehículo para que los participantes interesados soliciten fondos en las fases de mayor riesgo en el desarrollo geotérmico y la expansión de proyectos establecidos (International Development Interim Report, 2016, p.11). El gráfico 4 presenta la capacidad instalada y proyectada para Centro y Suramérica.

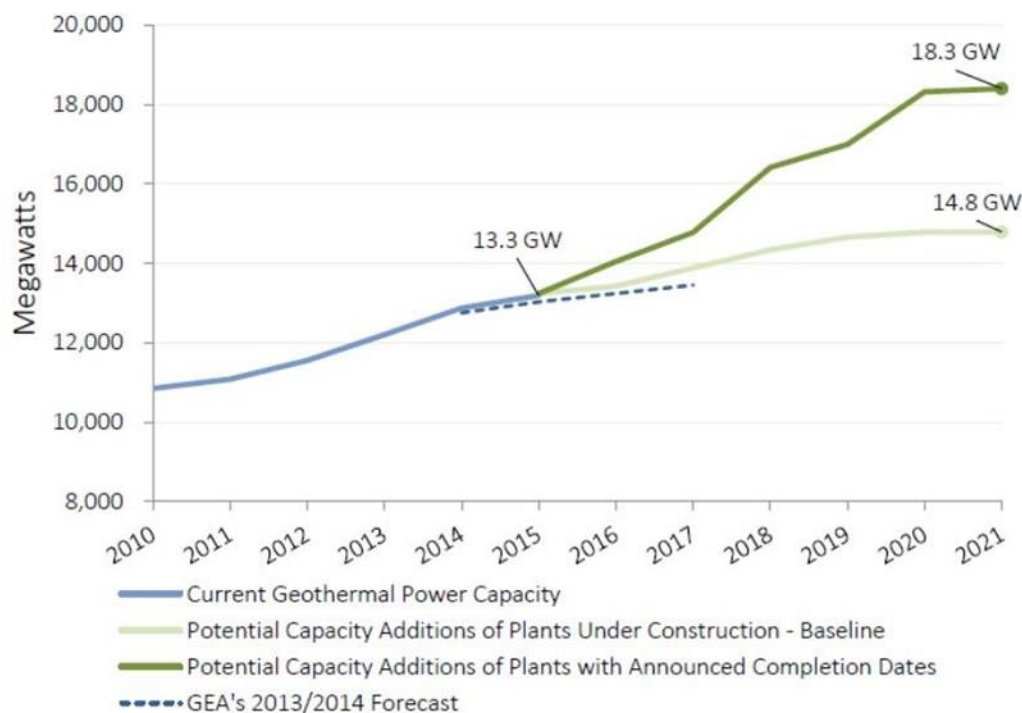


**Gráfico 4.** Energía Geotérmica en América Central y del Sur [2.3.1]

Fuente: Asociación de energía geotérmica, 2016

## 2.4 La proyección de le energía geotérmica a nivel mundial

El año 2015 fue un año emocionante para la geotermia a nivel mundial con muchos hitos de desarrollo cumplidos. Sin embargo, si los países planean cumplir los objetivos internacionales de desarrollo, un aumento de los recursos financieros y el fortalecimiento de los compromisos gubernamentales son componentes necesarios para cumplir los objetivos a 2030 (Geothermal Power: International Market Update, 2016 p.8). El gráfico 5 muestra la proyección de energía generada a partir de la geotermia a nivel mundial para el año 2021.

**Gráfico 5.** Capacidad de la placa de potencia geotérmica internacional (MW) [2.4]

Fuente: Asociación de energía geotérmica, 2016

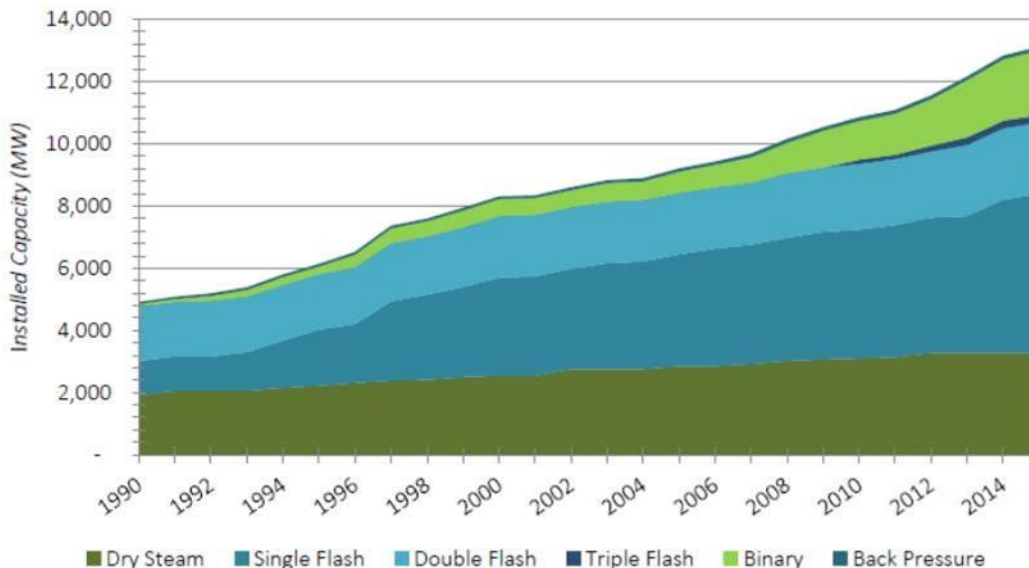
## 2.5 Criterios de selección de tecnologías

La tecnología de elección para una planta de energía geotérmica depende de las características de los recursos geotérmicos. Las plantas binarias se utilizan con recursos de temperatura más baja, mientras que las plantas de vapor seco y flash se utilizan con recursos de temperatura más altas. Las tecnologías flash y vapor seco continúan siendo las más predominantes y las más desarrolladas. Las tecnologías flash, incluyendo el flash doble y triple, representan un poco menos de dos tercios de los megavatios productores mundiales (58%), mientras que el vapor seco es aproximadamente una cuarta parte (25%) y el binario es un 16% restante. El último 1% restante de potencia incluye contrapresión y otros tipos de tecnologías geotérmicas no tradicionales. El mercado binario de turbinas que puede generar electricidad a partir de campos de baja temperatura tiene solo dos décadas de antigüedad. Muchos recursos de temperatura más baja están comenzando a

identificarse, explorarse y desarrollarse. (Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, 2016 p.18).

En general, la GEA (Geothermal Energy Association), espera que el mercado binario continúe creciendo sustancialmente en conjunto con los mercados de vapor seco y flash. En Europa y EE. UU., Los proyectos binarios son el principal tipo de central eléctrica en construcción, mientras que regiones como el este de África y el Pacífico sur tienen numerosas plantas de vapor seco y flash en desarrollo. Mientras tanto, América del Sur y Central solo han comenzado a explorar y estudiar sus recursos geotérmicos, pero se espera que estas regiones desarrollen una mezcla diversa de proyectos binarios, flash y de vapor seco. En conclusión, hay importantes recursos geotérmicos en desarrollo a través del espectro de temperatura en muchas regiones del mundo, y el tipo de tecnología que se utilizará en desarrollos futuros es difícil de predecir. (Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, 2016 p.19). El gráfico 6 realiza la descripción de los tipos de tecnologías usadas para la generación de energía a través de la geotermia.

**Gráfico 6.** Capacidad de operación por tipo de tecnología hasta el año 2014 [2.5]



Fuente: Asociación de energía geotérmica, 2016

## 2.6 La situación energética de Colombia

Colombia ha sido considerada en los últimos años como una economía latinoamericana con gran capacidad de afrontar la crisis económica mundial. (OECD, 2014). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático –IPCC– (IPCC, 2014) afirma que en la actualidad existe una gran dependencia de combustibles fósiles, y sólo se supera un poco más del 10% con generación de energía a partir de fuentes renovables. Es importante tener en cuenta que los combustibles fósiles son los mayores contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero –GEI–, aportando el 35% del total de emisiones globales (IPCC, 2014). Es por esta razón, que se han planteado para mitigar estas emisiones, (IPCC, 2014) alternativas como el uso de tecnologías para mejorar la eficiencia energética, las energías renovables, la captura de CO<sub>2</sub>, entre otros (Echevarría, Huaman y Xiu-Jun, 2014).

El Consejo Privado de Competitividad –CPC– (2014) mencionó que el sector energético debe resaltar más su participación en la competitividad del país puesto que cada vez es más la demanda por este recurso. Durante el período comprendido entre los años 2000 y 2012, los sectores con mayor demanda fueron transporte (36%) e industria (35,8%). (UPME, 2013).

Lo anteriormente expuesto, devela la importancia de centrar la atención en el desarrollo de las fuentes no convencionales de energía, en el aprovechamiento del potencial de otros recursos diferentes a la generación por fuentes hídricas y mediante procesos de mayor sostenibilidad.

### 2.6.1 Capacidad instalada en Colombia

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética y XM, al año 2017 se contó con 16.703,6 MW de capacidad instalada de generación de energía, cuyo mayor aporte fue realizado por las centrales hidroeléctricas con una participación de 69.92% del total, y en segundo lugar se ubicaron las centrales térmicas convencionales (gas y carbón), las cuales alcanzaron una participación del 20.62%, como lo muestra la tabla 1.

**Tabla 1.** Capacidad instalada por tecnología/recurso [2.6.1]

<b>TECNOLOGÍA/ RECURSO</b>	<b>CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MV)</b>	<b>CAPACIDAD EFECTIVA NETA (%)</b>
<b>ACPM</b>	931	5,57%
<b>AGUA</b>	11,679.6	69,92%
<b>BAGAZO</b>	128,7	0,77%
<b>BIOGAS</b>	4	0,02%
<b>BIOMASA</b>	0	0,00%
<b>CARBÓN</b>	1,352.0	8,09%
<b>COMBUSTOLEO</b>	187	1,12%
<b>GAS</b>	2,093	12,53%
<b>JET-A1</b>	46	0,28%
<b>MEZCLA GAS-JET-A1</b>	264	1,58%
<b>VIENTO</b>	18,4	11,00%
<b>TOTAL GENERAL</b>	16,703.6	100%

Fuente: Sistema de información XM, 2017

Como se visualiza, la energía geotérmica no figura, dado que, a la fecha aún no presentan proyectos de generación basados en esta tecnología.

En cuanto a la capacidad instalada por agente, la UPME presenta los siguientes datos al año 2017, recopilados en la tabla 2.

**Tabla 2.** Capacidad instalada por agente (MW). [2.6.1]

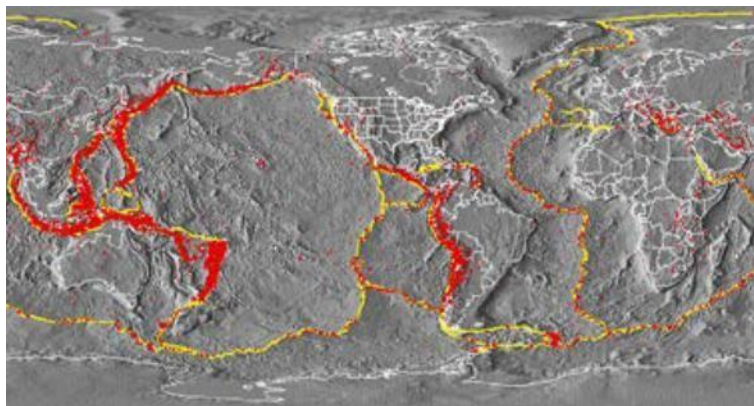
AGENTE	CAPACIDAD INSTALADA (MV)	CAPACIDAD INSTALADA (%)
EMGESA S.A E.S.P	3,488.6	20.89
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN S.A E.S.P	3,479	20.83
ISAGEN S.A E.S.P	2,988.9	17.89
EMPRESA DE ENERGÍA DEL PACÍFICO E.S.P	1,047.9	6.27
AES CHIVOR & CIA. S.C.A E.S.P	1,019.7	6.10
TERMOBARRANQUILLA S.A E.S.P	918	5.50
ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P	610	3.65
GENERADORA Y COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA DEL CARIBE S.A E.S.P	450	2.69
EMPRESA URRRA S.A E.S.P	338	2.02
GESTIÓN ENERGÉTICA S.A E.S.P	327	1.96
TERMOCANDELARIA S.C.A-E.S.P	314	1.88
CELSIA S.A E.S.P	232.8	1.39
OTROS AGENTES	1489.8	8.92
<b>TOTALES</b>	<b>16703.6</b>	<b>100</b>

Fuente: UPME, 2017

## 2.6.2 Potencial geotérmico

Colombia está situada en una posición geográfica de geología favorable, esto principalmente por su cercanía de parte del territorio al cinturón de fuego del pacífico, lugar en el que la temperatura del subsuelo se presenta en alto grado y se manifiesta con la actividad volcánica reciente. (Marzolf, 2014).

El Cinturón de Fuego del Pacífico, ilustrado en el mapa 5, es por su parte, situado sobre los bordes del océano pacífico, es el área que concentra mayor cantidad de volcanes el mundo, y se extiende desde el extremo sur de Latinoamérica, hasta Norteamérica, así como el estrecho de Bering, Japón y Nueva Zelanda.

**Mapa 5. Cinturón de fuego del pacífico. [2.6.2]**

Fuente: Marzolf, 2014

Las potencialidades de Colombia radican en la existencia reciente de actividad volcánica en las cordilleras Occidental y Central, cuyas exploraciones se han realizado sobre algunas de estas zonas, identificando las siguientes características:

- Sistema geotérmico de alta entalpía
- Anomalía térmica superficial,
- Reservorio y cobertura impermeable.

En la Cordillera Occidental, se han identificado áreas de los sistemas volcánicos Chiles-Cerro Negro; en la frontera con el Ecuador el Cumbal, el Azufral y el Galeras. (Celec EP, 2017).

De este modo, las áreas más significativas son:

1. La del volcán Azufral, caracterizada por un sistema volcánico de gran evolución y que se ve reflejada en alto grado de calor en la profundidad, así como fuentes termales que afloran en la superficie y fragmentos de roca con contenido de calor.
2. La del volcán Chiles-Cerro Negro que muestra rasgos de una fuente de calor de aparente cercanía a la superficie, además de fuentes termales de interés y un complejo de rocas con posible presencia de rocas en profundidad relacionadas con un reservorio geotérmico.

En la Cordillera Central, se han realizado estudios de sur a norte en las áreas de los volcanes Doña Juana, Sotará, Puracé y Huila. Sin embargo, esto no se han considerado zonas realmente potenciales por falta de características que puedan asociarse a un reservorio geotérmico de valor para ser explotado.

La cordillera Oriental también ha hecho parte de las zonas de estudios iniciales, en donde se ha identificado como zona de interés la cercanía al municipio de Paipa, caracterizado por un volcanismo de mediana edad y rocas de tipo sedimentarias, además de fuentes termales de gran cantidad de calor que afloran a la superficie. (Celec EP, 2017).

Además de las localizaciones anteriormente citadas, la empresa ISAGEN, ha adelantado estudios en áreas del Macizo Volcánico Ruiz-Tolima, los cuales para el año 2017 presentaron avances en temas de estudios ambientales, levantamiento parcial de veda en las zonas de interés para la perforación exploratoria. (ISAGEN, 2017). Adicionalmente, esta empresa adelantó con la Corporación Autónoma Regional de Caldas, la obtención de la Licencia Ambiental del Proyecto para las etapas de exploración y uso del recurso geotérmico. (ISAGEN, 2017).

En el Nevado del Ruiz, fue llevado a cabo a finales de la década de 1960 un estudio, el cual fue realizado por la empresa italiana ENEL (Ente Nazionale per la Energia Elettrica) en colaboración con el CHEC (Central Hidroeléctrica de Caldas), describiendo las características generales del complejo volcánico. (Bertani, 2016).

En este mismo lugar, se han desarrollado en los últimos años, investigaciones del complejo volcánico; un ejemplo de ello es la evaluación del potencial geotérmico basado en medidas de conductividad térmica de roca y modelación numérica de la transferencia de calor, estimando el potencial de un área de aproximadamente 1 Km<sup>2</sup> al noroeste del volcán. (Vélez, Blessent, Córdoba, López, Raymond y Parra, 2017).

Del mismo modo, González-García y Jessell (2016), declararon que el modelado numérico de calor y transferencia de masa en un sistema hidrotermal es una herramienta adecuada para proporcionar una estimación cuantitativa de recursos geotérmicos, así como para ayudar en la gestión sostenible de éstos. Por lo tanto, el modelo numérico usado para la investigación ayudó a obtener mejores resultados en zonas de difícil topografía, con distribución de conductividad restringida, para así estimar los recursos geotérmicos



---

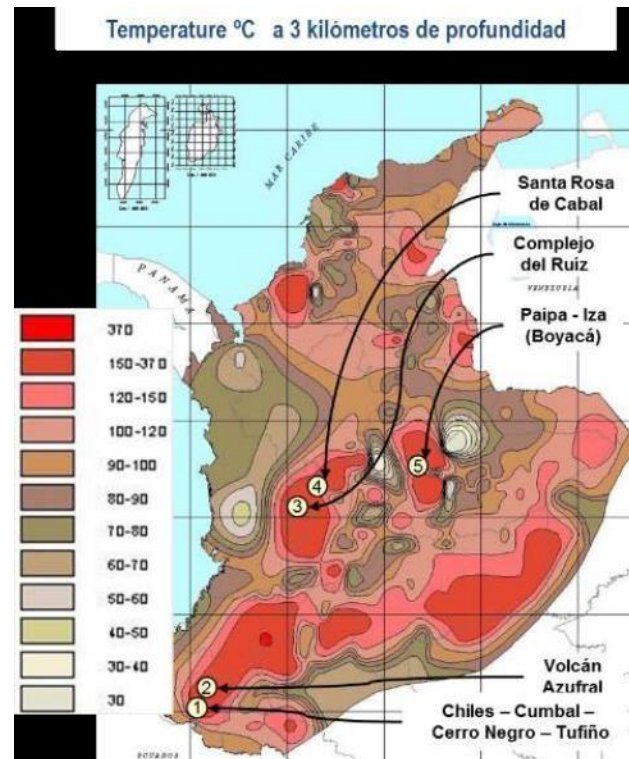
del lugar. De este modo, los resultados del modelado indicaron que el complejo de estudio es caracterizado por una conductividad térmica de potencial de albergar posibles depósitos de calor (Vélez et al, 2017).

De acuerdo con lo anterior, es notable que se han realizado algunos estudios que han permitido establecer unas zonas de interés industrial para el aprovechamiento geotérmico, no obstante, Bertani (2016), menciona que el desarrollo geotérmico en Colombia es incipiente en comparación con otros Países de América Latina con ambientes volcánicos similares. Una posible razón para explicar esto podría originarse en los costos, que aún para las etapas de exploración, son significativamente altos y no garantizan que pueda en efecto, que pueda llegarse a la etapa de explotación del recurso. Sin embargo, no se pueden obviar los estudios realizados desde la década de los 80's en el Valle de Nereidas, a partir de la actividad volcánica del Macizo Ruiz-Tolima, específicamente en el municipio de Villamaría, departamento de Caldas. (CHEC, 2018).

De acuerdo con la Central Hidroeléctrica de Caldas, este proyecto, que cuenta con Licencia Ambiental desde 1994, tiene ya una identificación del área para el diseño de las perforaciones profundas. Así, entre los años 2012 y 2014, a través de una alianza con Dewhurst Group, firma especializada en exploración, se desarrollan estudios geocientíficos tendientes a determinar la factibilidad técnica, ambiental y económica del Proyecto, con aportes de la USTDA (Agencia de los Estados Unidos para el Comercio y Desarrollo).

El acompañamiento socio ambiental ha establecido en las comunidades aledañas al área de influencia del proyecto Geotérmico espacios de sensibilización, información e intervención caracterizados por una comunicación asertiva, clara y permanente promoviendo la conservación y preservación del entorno, el beneficio de la comunidad y el desarrollo de los objetivos planteados por el proyecto. (CHEC, 2018).

Finalmente, el esfuerzo de INGEOMINAS al hacer el estudio este recurso elaboró el diagrama de temperaturas existentes en el subsuelo que favorece el reconocimiento del recurso; presentado como mapa 6.

**Mapa 6.** Potencial Geotérmico en Colombia [2.6.2]

Fuente: UPME

Por lo tanto, puede resumirse entonces que, de acuerdo con los estudios realizados, en la actualidad se proyecta una capacidad de generación de 188MW de energía geotérmica, a partir de los proyectos presentados en la tabla 3.

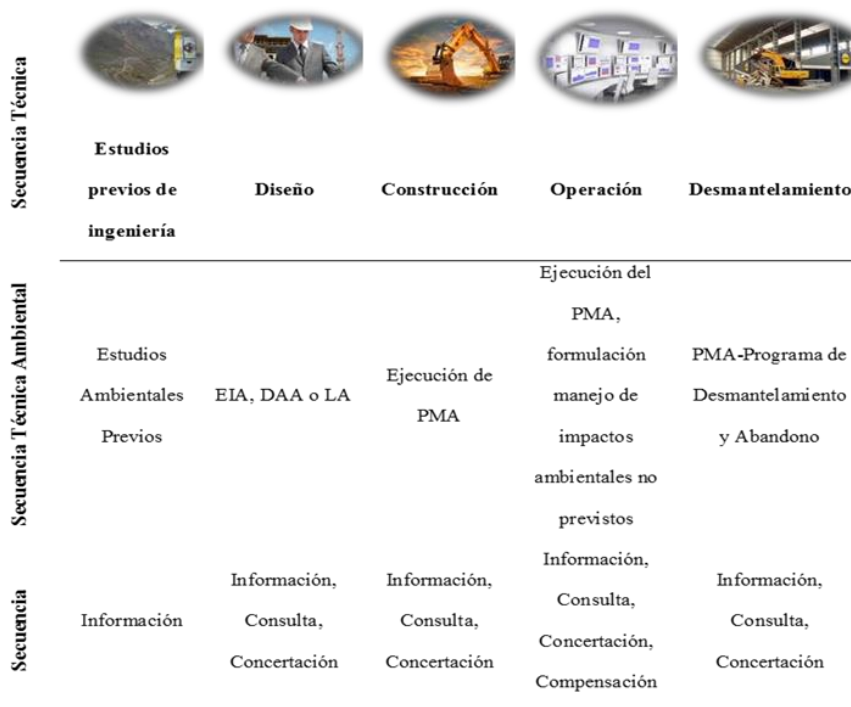
Así mismo, la ilustración 6 presenta las fases a desarrollar en materia ambiental para la obtención del licenciamiento y cumplir a cabalidad con los requerimientos establecidos en la normativa colombiana.

**Tabla 3.** Resumen de los proyectos en estado de prefactibilidad para generación de energía geotérmica [2.6.2]

Proyecto	Localización	Capacidad estimada	Estado de los estudios
Proyecto Geotérmico Macizo Volcánico del Ruiz	Villamaría (Caldas), Herveo, Casabianca y Villahermosa (Tolima), Santa Rosa (Risaralda)	50 MW	Prefactibilidad terminada, licencia ambiental en trámite
Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro	Cumbal (Nariño, Colombia) / Tulcán	138 MW	Prefactibilidad iniciada

Fuente: ISAGEN, 2017

**Ilustración 6.** Fases para el desarrollo de un proyecto geotérmico [2.6.2]



Fuente: Adaptación de ISAGEN, 2014

---

## **2.7 Una mirada hacia el futuro de cara a los retos mundiales**

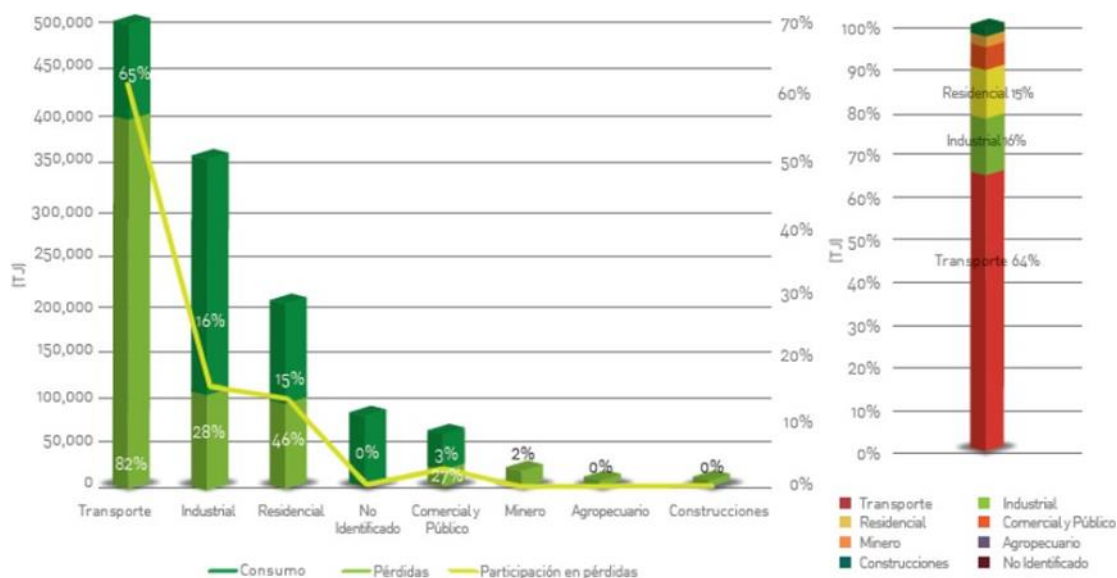
De acuerdo al Plan Preliminar de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2011-2025, formulado por el Ministerio de Minas (2015), el país sólo ha hecho uso de los medios tecnológicos para la generación de energía a través de sistemas convencionales (hidrocarburos, carbón e hidroenergía a gran y media escala), esto basados además en la regulación existente.

Sin embargo, los desarrollos tecnológicos, la escases de los recursos convencionales, la regulación cada vez más exigente para favorecer la protección del medio ambiente, , han generado para los países en vía de desarrollo oportunidades para explorar nuevos recursos para generación energética en función de la demanda creciente de la mano con el uso racional y eficiente de recursos como agua y energía.

## **2.8 Proyección de la demanda energética en Colombia**

Colombia replanteó en los últimos años la política de Eficiencia Energética, en donde incorpora a las empresas de servicios de energía como agentes protagonistas para liderar los planes y programas de uso eficiente del recurso, así como la innovación en la integración de nuevas tecnologías con uso de fuentes no convencionales que permitan además una diversificación de la economía. (Ministerio de Minas, 2016).

El consumo prioritario de energía está centrado en los sectores del transporte y la industria, según los datos suministrados por el Ministerio de Minas en el plan de Acción de Eficiencia Energética 2017-2022 y que son ilustrados en el gráfico 7. Dicho plan, está basado en las iniciativas de cambio climático y en los lineamientos establecidos en la estrategia de disminución de emisiones de gases efecto invernadero, en aras del cumplimiento de la meta de reducción con la cual se comprometió para el año 2030 en la COP21.

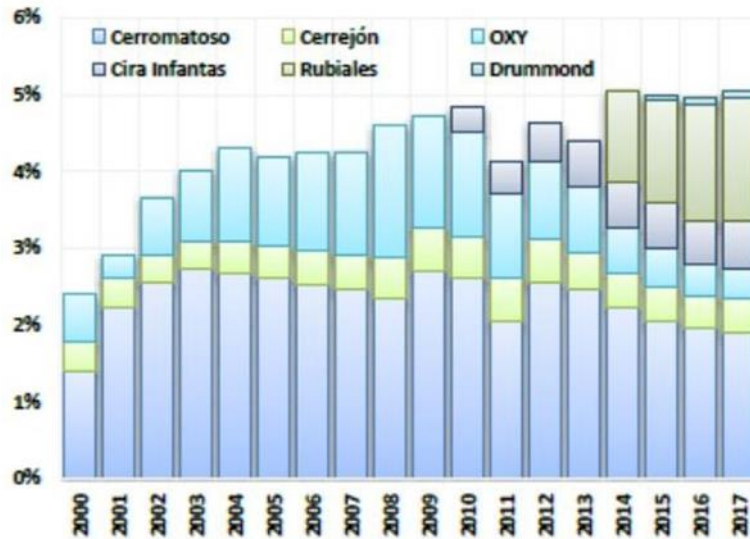
**Gráfico 7. Balance energético colombiano año 2015 [2.8]**

Fuente: UPME, 2016.

### 2.8.1 Grandes consumidores

Los grandes consumidores colombianos o grandes agentes demandantes, corresponden a sectores de la industria, tales como: Cerromatoso, Cerrejón, Ecopetrol, OXY, Rubiales y Drummond, los cuales por su comportamiento de consumo se pueden denominar “Grandes Consumidores” (ver gráfico 8).

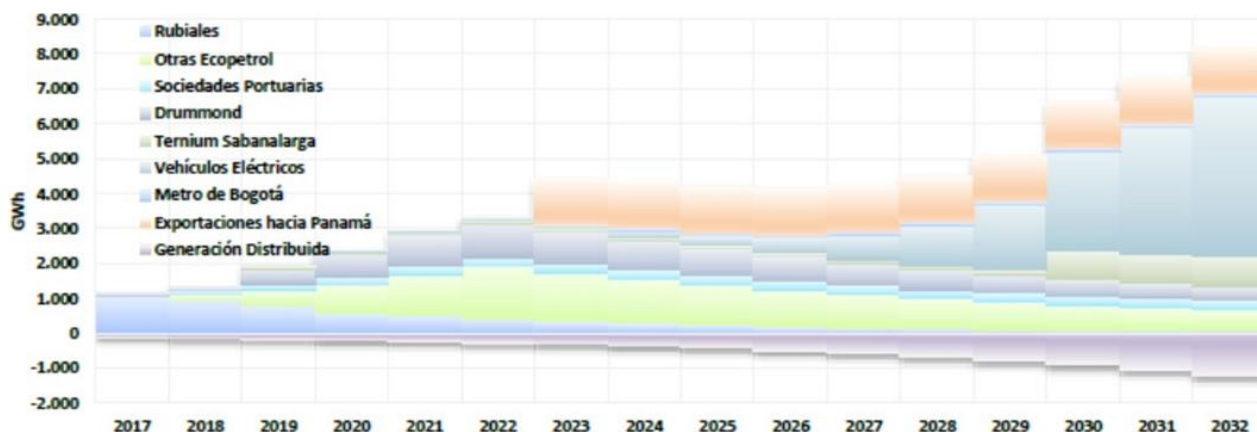
**Gráfico 8.** Evolución de la Participación Promedio Anual de los GCE en la Demanda de Energía Eléctrica [2.8.1]



Fuente: UPME, Base de Datos XM 2017

- Proyección de la demanda de energía eléctrica por grandes consumidores:

El gráfico No.9 define los valores proyectados de la demanda del recurso eléctrico esperado para los grandes consumidores, que fueron actualizados basados en las solicitudes de conexión presentadas.

**Gráfico 9.** Proyección de la demanda de energía eléctrica de GCE (GWh) [2.8.1]

Fuente: Pacific Rubiales, Ecopetrol, Drummond, Sociedades Portuarias, Transelca S.A., Metro de Bogotá, 2018.

Lo anterior demuestra que de acuerdo con las proyecciones de consumo energético, los grandes consumidores tienen una tendencia a requerir mayor abastecimiento de energía para cada una de sus actividades productivas, lo que se constituye en un reto para el país frente a los requerimientos y ahondar en fuentes de abastecimiento alternativas, por lo que resulta pertinente que los entes nacionales, den su mirada con mayor profundidad a diversas estrategias para la generación energética, así como a su regulación, abriendo paso a la Energía Geotérmica como una opción alternativa de abastecimiento para la satisfacción de la demanda.

## 2.9 Regulación normativa en Colombia

### ***Decreto 2462 del 28 de diciembre de 2018 Desarrollo de proyectos de Energías Renovables no Convencionales:***

Este decreto da viabilidad a los proyectos de exploración de fuentes de energías renovables no convencionales, suprimiendo la presentación de Diagnóstico Ambiental de Alternativas para los proyectos que pretendan generar más de 10MW. Este decreto posibilita dar luz a este tipo de proyectos, toda vez que este estudio en muchos casos no es aplicable, debido a que sólo algunas zonas cumplen con las características técnicas

para que puedan realmente operar, por lo que no es viable pensar en alternativas de cambio para plantear otra área.

***Ley 697 (2001) - Ley URE (Uso Racional y Eficiente de la Energía):***

Su objetivo es la motivación a la población del uso moderado de la energía, así como la incentivación al uso de fuentes de energía no convencional.

***Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 - Art. 105. "Energía Renovable":***

Es a través de este mecanismo como el gobierno nacional diseñó y estableció una política nacional cuyo fundamento es la investigación y el fomento de las energías renovables, así como los mecanismos para la reducción de emisiones de CO2 generadas por las actividades productivas, y los beneficios para quienes se comprometan a reducirlo.

***Ley de Energías Renovables 1715 de 2014:***

Esta ley incentiva el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, su inversión y los mecanismos para el desarrollo de tecnologías limpias y su apropiación.

***Decreto 0570 de 2018:***

Este decreto reglamenta la introducción de las energías renovables a la matriz energética del país, sin embargo, no determina de manera específica los lineamientos para la adopción de la misma en la búsqueda de la reducción de los gases efecto invernadero y la meta propuesta por Colombia (Reducción del 20% de emisiones para el año 2030). (El Espectador, 2018).



## **3. Conclusiones y recomendaciones**

### **3.1 Conclusiones**

Pese a que la energía geotérmica es una fuente de energía no convencional que en países de Europa y Asia ha favorecido al desarrollo más sustentable de sus economías y ha contribuido a la reducción de gases efecto invernadero, para Colombia aún implica un reto desde la aplicación de tecnologías eficientes para su explotación en las zonas que han sido identificadas y son altamente potenciales, así como también en ámbitos económicos, dados sus altos costos de producción teniendo en cuenta factores como la topografía predominante en el país, lo que sería sin duda alguna, un factor determinante para concretar la explotación de este recurso con fines de generación energética.

La energía geotérmica es sin duda una fuente de energía renovable debido a que su aprovechamiento se realiza del calor natural que existe al interior de la tierra, que en comparación con otros sistemas de generación como los hidráulicos, no necesita de cantidades significativas de área para su aprovechamiento, lo que conlleva a unos mínimos impactos en materia ambiental para los componentes físico-bióticos de los ecosistemas presentes, además de contribuir a la disminución de los gases efecto invernadero por los sistemas de producción utilizados en donde en general, no hay escapes de gases a la atmósfera. No se pueden obviar además, las metas establecidas y los compromisos mundiales en concordancia con las metas propuestas en búsqueda del alcance de los objetivos de desarrollo sostenible, apuntándole a las acciones por la reducción de los gases efecto invernadero y por ende, un medio ambiente más limpio y a ciudades con mayor calidad de aire.

De acuerdo con las exploraciones realizadas para el aprovechamiento del recurso geotérmico en Colombia y las diversas zonas identificadas tanto en las cordilleras central y occidental, las áreas que pueden ser aprovechadas corresponden al macizo del nevado del Ruiz y al proyecto Binacional Tufiño-Cerro Negro, los cuales presentan características

que muestran yacimientos que pueden ser explotados para el uso energético. No obstante, para hacer una real estimación de áreas aprovechables, se requieren compromisos reales entre los sectores público y privado que permitan llevar a cabo estudios exhaustivos y así obtener una caracterización real, además de modelar el aprovechamiento del recurso, lo que permitirá precisar la cantidad de energía aprovechable a través de estos sistemas y definir los mecanismos más apropiados para el aprovechamiento energético a partir de esta fuente.

Una gran limitante en la actualidad es la ambigüedad que se presenta con la reglamentación vigente para el otorgamiento de Licenciamiento Ambiental para la explotación y el uso de recursos geotérmicos con fines de generación de energía eléctrica, lo que es sin duda alguna, un hito para hacer realidad los proyectos que tienen avance en sus etapas de exploración y factibilidad y que son desarrollados actualmente por las empresas interesadas en el país.

### **3.2 Recomendaciones**

Para que pueda desarrollarse un aprovechamiento energético de las zonas potencialmente identificadas, es necesario que se trabaje mancomunadamente entre los sectores público y privado con la finalidad de fortalecer los estudios necesarios, la planificación detallada y posteriormente realizar la explotación de los yacimientos.

Sin embargo, Colombia requiere de una regulación exhaustiva y detallada, que pueda referenciar un marco legal de estricto cumplimiento y rigurosidad ambiental, permitiendo tener un control de los impactos que puedan generarse. No obstante, se poseen herramientas de control como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), que emite las Licencias requeridas para cada uno de los proyectos de Infraestructura cuya envergadura debe someterse a dicho control.

En este sentido, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales como entidad competente, debe velar porque el marco regulatorio para que el aprovechamiento de la energía geotérmica se de en condiciones propicias, siendo inclusive fundamental su posición frente a lineamientos y pautas que deban acatarse en aras de la sostenibilidad ambiental.

# Bibliografía

- Abril, M. A. (2017). *Estudio sobre la Generación de Energía Geotérmica para su Aprovechamiento en el Sector de la Construcción y las Cimentaciones*. Bogotá. Recuperado de:  
<http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4472/Abrilmiguel2017.pdf?sequence=1>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (2013). *Informe de Gestión 2012*. Recuperado de:  
<http://www.anh.gov.co/la-anh/Informes%20de%20Gestin/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%202012%20%28PDF%29.pdf>
- Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report (2016). Recuperado de:  
<http://geo-energy.org/reports/2016/2016%20Annual%20US%20Global%20Geothermal%20Power%20Production.pdf>
- Arias, G., & Acevedo A (2017). *Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia. Manizales*. Tesis de Pregrado. Recuperado de:  
<http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13221/1/1087995573.pdf>
- Bertani, R. (s.f.). (2016). *Geothermal power generation in the world 2010-2014 update*. Recuperado de:  
<https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/01001.pdf>
- Bruni, S. (2014). *La Energía Geotérmica. BID-Centro de Innovación Energética. 3 ed. Inter American Development Bank*. Recuperado de:  
<<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6601/EI%20calor%20de%20la%20Tierra%3A%20fuente%20inagotable%20de%20energ%C3%ADa%20sostenible.pdf?sequence=4>>.
- Cadena, Ángela Inés, Botero, Sergio, Táutiva, Camilo, Betancur, Luis, Vesga, Daniel. (2008). "Regulación para incentivar las energías alternas y la generación distribuida

en Colombia" (Conclusiones). *Revista de Ingeniería*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a13.pdf>

Camargo, V. P. (2013). *Propuesta Metodológica para la Evaluación Integral de Proyectos en el Sector Energético*. Valencia. Tesis de Doctorado. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30063/TESISDOCTORAL.VPARODI.VERSION3.pdf>

Celec. (2017). *Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño-Chiles-Cerro Negro*. Quito. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/retos-empresariales/proyectos-de-generacion-no-convencional/proyecto-geotermico/tufino-chiles-cerro-negro>

Change, I. P. (2014). *Climate Change: Mitigation of Climate Change*. Copenhagen

CHEC, C. H. (2018). *Introducción al Uso Eficiente de la Energía y su uso*. Recuperado de: <http://www.chec.com.co/clientes-y-usuarios/hogares/energia/uso-eficiente-de-la-energia>

Congreso de la República. (2001). *Ley 697 de 2001*. Bogotá. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>

Coral, F. A., & Ortiz Chamorro, A. X. (2015). *La Geotermia, Fuente de Energía Alternativa para el departamento de Nariño: Potencialidad, Usos y Beneficios*. Pasto. Recuperado de: <http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/libroseditorialunimar/article/view/704/629>

CPC, C. P. (2014). *Índice de competitividad 2013-2014*. Recuperado de: <https://pca-cpa.org/es/services/arbitration-services/energy-charter-treaty/>

Cuervo, F. I. (2015). *Valoración de Fuentes Renovables no Convencionales de Electricidad: un enfoque desde las opciones reales*. *Cuadernos de Administración*, 45-64. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v28n51/v28n51a03.pdf>

Echevarría-Huaman, R. & Xiu-Jun, T. (2014). *Energy related CO2 emissions and the progress on CCS projects. A review Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 368 -385. *ScienceDirect*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.002>

Ecodes. (2015). *Marco Internacional: Protocolo de Kyoto*. Recuperado de: <https://ecodes.org/cambio-climatico-y-ecodes/marco-internacional-protocolo-de-kyoto#.Ww8Slu6FPIU>

- El Espectador. (26 de marzo de 2018). *Lista la regulación que permite implementar energías renovables en Colombia. Economía, pág. 1.*  
Recuperado de: <https://www.elespectador.com/economia/lista-la-regulacion-que-permite-implementarenergias-renovables-en-colombia-articulo-746603>
- Energía Andina (2017). *Geotermia: Una fuente de energía limpia y renovable.*  
Recuperado de <http://www.energiandina.cl/category/geotermia/que-es-geotermia/>
- EPBD. (2010). *Energy Performance of Buildings.* Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=C2%BCOJ:%20L:2010:153:0013:0035:>
- Esteve, N. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las Energías Renovables Solar y Eólica. Bogotá: Tesis de Grado. Universidad Javeriana.*  
Recuperado de:  
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>
- Farietta, K. (2014). *Políticas públicas en Colombia de generación distribuida en nuevas fuentes energéticas: el caso de la geotermia y las zonas no interconectadas. Revista Vía Inveniendi et iudicandi 8(2).* Recuperado de:  
<http://revistas.usta.edu.co/index.php/viei/article/view/1164>
- Fernández, P. (2015). *Energía Geotérmica. España.* Recuperado de:  
<http://es.pfernandezdiez.es/index.php?pageID=13>
- Geothermal Power: International Market Update. (2016). Recuperado de: <http://geo-energy.org/reports/2016/2016%20International%20Development%20Interim%20Report.pdf>.
- González, J., & Jessell, M. (2016). *A 3D geological model for the Ruiz-Tolima Volcanic Massif (Colombia): Assessment of geological uncertainty using a stochastic approach based on Bézier curve design. Tectonophysics, 139–157.* Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.09.011>
- International Energy Agency. (2015). *Energy Efficiency Market Report 2015.*  
Recuperado de:  
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MediumTermEnergyefficiencyMarketReport2015.pdf>

- IPPC. (2014). *Mitigación del Cambio Climático. Suiza*. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf)
- ISAGEN. (2014). *Energía Geotérmica en Colombia*. Recuperado de: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2014/Jun/2/16\\_Castro.pdf?la=en&hash=EE9D3F614692D2203DE762437A40EF27A7A116D9](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2014/Jun/2/16_Castro.pdf?la=en&hash=EE9D3F614692D2203DE762437A40EF27A7A116D9)
- Isaza, F. (2015). *Valoración fuentes renovables no convencionales de generación de electricidad: un enfoque desde. Cuadernos de Administración, 45-64*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.cao28-51.vfrc>.
- J, G., & Jessell, M. (2016). *A 3D geological model for the Ruiz-Tolima Volcanic Massif (Colombia): assessment of geological uncertainty using a stochastic. Tectonophysics 687, 139-157*. Recuperado de: <https://doi:10.1016/j.tecto.2016.09.011>
- Llopis, G. & Rodrigo, V (2008). *Guía de la Energía Geotérmica. España.: FENERCOM*. Recuperado de: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf>
- Lund, J., & Boyd, T. (2015). *Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress, 1-31. ScienceDirect*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004>
- Marzolf, N. (2014). *Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo Convenio ISAGEN – BID/JC*. Recuperado de <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>
- Matiz, J. (2018). *Metodología para determinar el modelo espacial del gradiente geotérmico en las cuencas sedimentarias del Valle del medio Magdalena, Cordillera Oriental y Llanos Orientales en Colombia*. Recuperado de: [http://repository.udistrital.edu.co/bitsteam/1149/7732/1/Proyecto\\_Geotermia\\_JCML.pdf](http://repository.udistrital.edu.co/bitsteam/1149/7732/1/Proyecto_Geotermia_JCML.pdf)
- Mejía, E., Velandia, F., Zuluaga, C., López, J., & Cramer, T. (2012). *Análisis Estructural al Noreste del Volcán Nevado del Ruiz-Colombia, Aporte a la Exploración Geotérmica. Boletín de Geología, 27-41*. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-02832012000100002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-02832012000100002)

- Mejía, N. (2013). *Metodología para medir el Impacto Ambiental por Aprovechamiento de Energía Geotérmica. Manizales*. Tesis de grado. Recuperado de: [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1316/Mejia\\_Nari%C3%B1o\\_Nestor\\_2013.pdf?sequence=4](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1316/Mejia_Nari%C3%B1o_Nestor_2013.pdf?sequence=4)
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Plan de Acción de Mitigación del Sector Energético-Energía Eléctrica. Bogotá*. Recuperado de: [http://www.lowemissiondevelopment.org/lecbp/docs/countries/Colombia/Colombia\\_PAS\\_Energia\\_Electrica\\_Reemitido\\_MADS.pdf](http://www.lowemissiondevelopment.org/lecbp/docs/countries/Colombia/Colombia_PAS_Energia_Electrica_Reemitido_MADS.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía. (2011). *Plan Preliminar de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2011-2025. Bogotá*. Recuperado de: [http://www1.upme.gov.co/Documents/plan\\_expansion\\_2011\\_2025\\_v1.pdf](http://www1.upme.gov.co/Documents/plan_expansion_2011_2025_v1.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia. Bogotá*. Recuperado de: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía. (2016). *Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. Bogotá*. Recuperado de: [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). *Decreto 0570 de 2018. Bogotá*. Recuperado de: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%200570%20DEL%2023%20DE%20MARZO%20DE%202018.pdf>
- OECD Publishing. (2014). *Environmental Performance Reviews OECD*. s. I. Recuperado de: <https://www.oecd.org/env/country-reviews/colombia2014.htm>
- Olade. (2017). *Manual de Planificación Energética. Quito*. Recuperado de: [http://www.olade.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual\\_Planificacion\\_Energetica\\_Espa%C3%B1ol\\_Final22-05-2017.pdf](http://www.olade.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual_Planificacion_Energetica_Espa%C3%B1ol_Final22-05-2017.pdf)
- Presidencia de la República, (2003). *Decreto 3683*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=11032>
- Richter, A. (2016). *Ethiopia exempts geothermal developer from royalty payments under new geothermal law*. Recuperado de: <http://www.thinkgeoenergy.com/ethiopia-exempts-geothermal-developer-from-royalty-payments-under-new-geothermal-law/>

- Ritcher, A. (2016). *Exergy wins contract for 4MW binary plant in the Azores. Portugal*. Recuperado de: <http://www.thinkgeoenergy.com/exergy-wins-contract-for-4mw-binary-plant-in-the-azores-portugal/>
- Ritcher, A. (2016). *GDC expects to start exploration at Suswa geothermal field this fall*. Recuperado de: <http://www.thinkgeoenergy.com/gdc-expects-to-start-exploration-at-suswa-geothermal-field-this-fall/>
- Rojas, F. (2016). *Nickel Asia invests into Montelago project, Philippines*. Recuperado de: <http://www.thinkgeoenergy.com/nickel-asia-invests-into-montelago-project-philippines/>
- Universidad Nacional-Fundación Bariloche Plan Energético Nacional 2010-2030. (2010). PEN 2010-2030, Informe Final. Recuperado de: <http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN%202010%20VERSION%20FINAL.pdf>
- Restrepo, Sara, Salazar, Katherine, Ocampo, Olga, Vergara, María del Carmen (2014). *Análisis de la producción científica en energías en Caldas, Colombia. El Hombre y la Máquina*. (45), 98-109. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47838946012>> ISSN 0121-0777
- Rosland, M., Basmoen, T., & Sui, D. (2017). *Geothermal energy extraction from abandoned wells. ScienceDirect*, 244-249. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.309>
- UNEP (2009). *Summary For Decision-markers. United Nations Environmental Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris*. Recuperado de: <http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCIBCCSummary.pdf>.
- UPME (2013). *Plan de expansión de referencia: generación - transmisión, 2013-2027. Bogotá: Unidad de Planeación Minero-Energética*. Recuperado de: [http://www.upme.gov.co/docs/plan\\_expansion/2013/plan\\_gt\\_2013-2027\\_vdefinitiva.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/plan_expansion/2013/plan_gt_2013-2027_vdefinitiva.pdf)
- UPME. (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario 2050. Bogotá*. Recuperado de: [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)
- UPME. (2018). *Proyección de la Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia. Bogotá*. Recuperado de: [http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Abril\\_2018.pdf](http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Proyeccion_Demanda_Energia_Abril_2018.pdf)



Unidad de Planeación Minero-Energética. (2014). *Ley 1715 de 2014*. Bogotá.

Recuperado 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)

Vélez, M. I., Blessent, D., Córdoba, S., López, J., Raymond, J., & Parra, E. (2017).

*Geothermal potential assessment of the Nevado del Ruiz volcano based on rock thermal conductivity measurements and numerical*. *ScienceDirect*, 153-164.

Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.11.011>