

**Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia**

**Geraldyn Arias Marín**

**Ana María Acevedo Sánchez**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD–**

**Escuela de Ciencias Agrarias Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**2017**

**Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia**

**Monografía presentada como requisito  
parcial para obtener el título de  
Ingeniera Ambiental**

**Geraldyn Arias Marín**

**Ana María Acevedo Sánchez**

**Asesor**

**Ing. Diego Alejandro Pérez**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD–**

**Escuela de Ciencias Agrarias Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Manizales, junio de 2017**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

## Dedicatoria

*A Dios, fuente de vida y sabiduría*

*A nuestros padres, que nos*

*acompañaron en*

*todo el proceso.*

*Mil Gracias.*

*Geraldyn y Ana María*

## **Agradecimientos**

Las autoras quieren presentar sus agradecimientos a:

Los funcionarios de la CHEC, por el apoyo brindado durante el proceso de levantamiento y análisis de la información necesaria para el trabajo de grado.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
1. Planteamiento Del Problema .....	15
2. Justificación .....	19
3. Objetivos.....	22
3.1 Objetivo General .....	22
3.2 Objetivos Específicos.....	22
4. Marco Referencial.....	23
4.1 Marco Teórico.....	23
4.1.1 Situación energética a nivel internacional .....	23
4.1.2 Situación energética a nivel nacional .....	26
4.1.3 Sistema Geotérmico.....	29
4.1.4 Impacto ecológico de la producción de energía geotérmica .....	32
4.1.5 <i>Comparativo entre las distintas formas de energía renovable</i> .....	36
4.2 Marco Legal .....	42
4.2.1 Marco Legal Internacional. ....	42
4.2.2 Leyes.....	42
4.2.3 Decreto. ....	44
4.2.4 Resoluciones.....	44
5. Diseño Metodológico.....	46
5.1 Tipo de investigación .....	46

	7
5.2 Fuentes de información .....	47
5.3 Población.....	47
5.4 Indicadores .....	47
5.5. Recolección de información.....	48
5.5.1 Contactos institucionales y presentación del proyecto. ....	48
5.5.2 Diseño y prueba de los instrumentos y de los instructivos correspondientes. .....	49
5.5.3 Equipo de investigación y selección y capacitación del personal de campo. .....	49
5.6 Resultados esperados .....	49
6. Línea Base de la Geotermia .....	50
Ecuador quiere generar energía geotérmica.....	55
6.1 La Geotermia a nivel mundial.....	55
6.2 Estado de la Geotermia en Europa y Asia.....	56
6.3 La geotermia en Norte América.....	66
6.4 Geotermia en Centro América .....	68
6.5 Geotermia en América del Sur.....	76
7. Proyectos vigentes en el país que pretenden implementar el uso de energía geotérmica .....	94
8. Avance en los proyectos de energía geotérmica Parque Nacional Natural De Los Nevados y Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.....	96
8.1 Parque Nacional de los Nevados.....	96

8.2 Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro (TCCN)....	98
9. Conclusiones .....	100
10. Recomendaciones .....	107
Glosario.....	108
Bibliografía .....	110
Ramos, C. (2016). Análisis costo-beneficio de la implementación de las energías renovables no convencionales en la industria química. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <a href="http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14973/3/RamosMoraCesarLeonardo2016.pdf">http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14973/3/RamosMoraCesarLeonardo2016.pdf</a> .....	116
Santamarta, J. (2013). Ecuador quiere generar energía geotérmica. Reve, junio. Recuperado de <a href="https://www.evwind.com/2013/06/02/ecuador-quiere-generar-energia-geotermica-por-jose-santamarta/">https://www.evwind.com/2013/06/02/ecuador-quiere-generar-energia-geotermica-por-jose-santamarta/</a> .....	117
Sanz, D. (2011). Canadá podría obtener toda su electricidad de la energía geotérmica. Recuperado de <a href="https://energiasrenovadas.com/canada-podria-obtener-toda-su-electricidad-de-la-energia-geotermica/">https://energiasrenovadas.com/canada-podria-obtener-toda-su-electricidad-de-la-energia-geotermica/</a> .....	117
UPME, (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Recuperado de <a href="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</a> .....	118



### **Lista de Tablas**

Tabla 1. Impactos de la producción de energía geotérmica.....	32
Tabla 2. Comparativo entre las distintas formas de energía renovable .....	36
Tabla 3. Matriz de indicadores .....	48
Tabla 4. Resumen de los proyectos geotermicos encontrados a nivel mundial.....	50
Tabla 5. Inventario de recursos geotérmico de moderada-baja entalpia.....	72
Tabla 6. Potencial geotérmico en Panamá .....	76
Tabla 7. Otras zonas geotérmicas de Ecuador .....	92
Tabla 8. Desarrollo cronológico proyecto Nereidas .....	96

## Lista de Figuras

Figura 1. Demanda de energía primaria mundial entre 1971 y 2008 expresada en unidades de energía llamadas Mtoe.....	23
Figura 2. Evolución de la demanda energética global, 1990-2040 .....	24
Figura 3. Crecimiento de la Oferta agregada en Colombia .....	26
Figura 4. Inflación Versus Variación anual de precios energía eléctrica y gas en Colombia .....	27
Figura 5. Representación de un sistema térmico ideal .....	30
Figura 6. Top 10 de los países del mundo que utilizan energía geotérmica directa .....	59
Figura 7. Estado de las áreas geotérmicas en Costa Rica 2014.....	73
Figura 8. América Central sitios con potencial geotérmico .....	74
Figura 9. Mapa del potencial geotérmico en Panamá.....	75
Figura 10. Campo Copahue-Caviahue.....	77
Figura 11. Pozo de exploración geotérmica en Chile.....	80
Figura 12. Potencial Geotérmico Perú.....	85
Figura 13. Mapa de localización de las fuentes termales de Calientes.....	87
Figura 14. Mapa geotérmico de Bolivia .....	89
Figura 15. Mapa volcánico del Ecuador.....	90
Figura 16. Potencial Geotérmico en Ecuador.....	91
Figura 17. Proyecto Prioritarios en Colombia.....	94
Figura 18. Mapa del proyecto Tufiño-Chiles-Cerro Negro.....	98

## Resumen

A raíz de la crisis medioambiental detectada el siglo pasado, que llevo a la firma de los tratados de Río de Janeiro en 1992 sobre el medio ambiente y el protocolo de Kioto de 1997 sobre cambio climático, se ha generado un compromiso para que los Estados promuevan la búsqueda de fuentes energéticas renovables no convencionales que protejan el medio ambiente, entre estas fuentes de energía se encuentran la geotermia. En Colombia se han detectado varios puntos con actividad para su desarrollo, entre ellos se encuentra el Nevado del Ruiz en la zona de la Nereidas en Caldas, el Azufral de Tuquerres en el departamento de Nariño (proyecto Azufral), Proyecto Geotérmico Binacional “Tufiño-Chiles-Cerro Negro” (Colombo- Ecuatoriano) y Paipa - Iza en el departamento de Boyacá (proyecto Paipa).

La producción de energía por este sistema, ha demostrado ser de bajo impacto ambiental, aunque en la fase exploratoria y de montaje genera algunas afectaciones al ambiente que han sido objeto de estudio, y se diseñó una metodología para cuidarlo.

Entre 2003 y 2012, hubo un gran despliegue mediático, sobre este tema, pero en la actualidad no hay información sobre la evolución del sistema y ni siquiera la crisis energética de principios de 2016, logró que se mostraran resultados sobre este tema.

El trabajo encontró que de los cuatro grandes proyectos: Azufral en Nariño, Paipa en Boyacá, Tufiño-Chiles-Cerro Negro” (Colombo- Ecuatoriano) y las Nereidas en Villamaría (Caldas), el más avanzado es este último por estar tan sólo pendiente del permiso ambiental para entrar en la fase de desarrollo. El Tufiño-Chiles-Cerro Negro”, está en la fase de prefactibilidad y de los otros dos es muy poca la información de los proyectos. Aunque ISAGEN, espera estar produciendo energía eléctrica con el proyecto binacional para el 2018.

Palabras Claves: Energía, Geotermia, Medio Ambiente, Instituto Colombiano Geológico, Isagen

## Abstract

Following the environmental crisis of the last century, which led to the signing of the Rio de Janeiro treaties in 1992 on the environment and the Kyoto Protocol of 1997 on climate change, a commitment has been made for States to promote the search for non-conventional renewable energy sources that protect the environment, these sources of energy include geothermal energy. In Colombia, several points have been detected with activity for its development, among them is the Nevado del Ruiz in the area of the Nereidas in Caldas, the Azufral of Tuquerres in the department of Nariño (project Azufral), Binational Geothermal Project "Tufiño- Chiles-Cerro Negro "(Colombo-Ecuadorian) and Paipa-Iza in the department of Boyacá (Paipa project).

The production of energy by this system has been shown to be of low environmental impact, although in the exploratory and assembly phase it generates some effects to the environment that have been the object of study, and a methodology was designed to take care of it.

Between 2003 and 2012, there was a great deal of media coverage on this issue, but at present there is no information on the evolution of the system and not even the energy crisis of early 2016, it managed to show results on this topic.

The work found that of the four large projects: Azufral in Nariño, Paipa in Boyacá, Tufiño-Chiles-Cerro Negro "(Colombo-Ecuadorian) and Nereidas in Villamaría (Caldas), the most advanced is the latter because it is only pending of the environmental permit to enter the development phase. El Tufiño-Chiles-Cerro Negro ", is in the pre-feasibility phase and the other two are very little information on the projects. Although ISAGEN, hopes to be producing electricity with the binational project for 2018.

Keywords: Energy, Geothermal energy, Environment, Geological Institute of Colombia, Isagen

## Introducción

El estado actual de la producción de energía geotérmica en Colombia, es un estudio que hace un recorrido por el mundo buscando los proyectos de desarrollo geotérmico, y sus niveles de avance, para establecer que tanto ha sido el compromiso de los gobiernos para con el cumplimiento de los Acuerdos de Río de Janeiro (1972) y el Protocolo de Kioto (1997). Al cambiar la producción de energía de recursos fósiles, a la energía geotérmica se logra en el largo plazo una producción de energía ambientalmente más limpia y con menor costo de producción, por ser gratuita y la comercialización de ella puede recuperar los altos costos de inversión en las fases de reconocimiento, prefactibilidad, factibilidad y desarrollo.

El presente estudio de tipo cualitativo, de enfoque descriptivo, indaga el estado de los proyectos de geotermia en Colombia, para establecer su nivel de desarrollo y luego centra su interés en dos de gran importancia para el futuro eléctrico del país: el proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro, el cual impacta a Ecuador y Colombia por las dos laderas del Volcán Chiles que ambos comparten en la línea fronteriza, el cual se firmó desde el 2010 y el segundo proyecto es las Nereidas, ubicado en la base del Nevado del Ruíz y el cual ha contado con el apoyo del BID, ISAGEN, UNE, y la CHEC.

El trabajo tuvo limitantes para el logro de sus objetivos por el hecho de que tanto ISAGEN, como la CHEC, no aportaron información primaria (no respondieron la entrevista diseñada), sobre el avance del proyecto, siendo remitidas las investigadoras a unos enlaces de la web, para establecer el estado actual de los proyectos, en los cuales no se encontró informes sobre el avance a 2016, y por ello se trabajó con los datos encontrados que corresponden al año 2014.

El documento cuenta con el planteamiento del problema, que parte de la importancia que tiene el medio ambiente para la sustentabilidad de la vida en la tierra y la forma como el cambio climático lo afecta, en Colombia se vivencia con los fenómenos del niño y de la niña, que lo llevan de la crisis energética a los desastres naturales, tales como inundaciones que tienen altísimos costos económicos y de vidas tanto humanas como animales, según la información que circula en los noticieros diarios. Los objetivos, que tienen como fin identificar el nivel de desarrollo de la energía geotérmica en Colombia, la justificación, tiene en cuenta la importancia que la generación de energía limpia tiene en el mundo actual, el marco referencial incluye una mirada mundial y nacional de la situación energética, el diseño metodológico, corresponde a una revisión bibliográfica, se incluye un capítulo de resultados, las conclusiones, recomendaciones y referencias.

## **1.Planteamiento Del Problema**

El desafío del mundo moderno es utilizar energía limpia, con el fin de lograr mitigar el cambio climático y lograr un desarrollo sostenible, en cumplimiento de los Acuerdos de Río de Janeiro de 1972, sobre el medio ambiente y el Protocolo de Kioto de 1997, sobre cambio climático..(Ecodes.org. 2015. párr. 1). Esta urgencia ha promovido la búsqueda de nuevas tecnologías para obtener recursos energéticos renovables entre los que se encuentra la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocarburantes.(Farietta. 2013, p. 153)

La tecnología geotérmica ha sido utilizada para generar electricidad, calefacción y refrigeración, esta variedad de aplicaciones de la geotermia, permite su uso sobre todo en los países que poseen estaciones, para usarla en invierno para calentar y en verano para refrigerar, evitando el consumo de energía fósil y con ello un mayor daño a la capa de ozono.

La energía geotérmica es la que se obtiene por la utilización de fluidos de fuentes naturales, ésta forma de energía se explota comercialmente en varios lugares del mundo. Pero existe otra forma de extracción de energía geotérmica y que se encuentra en casi todos los países y es la obtenida de rocas calientes profundas, a las cuales se les bombea agua a presión para generar un depósito de una pequeña cantidad de agua dispersada el cual es accionado mediante un segundo pozo situado a cierta distancia del primero, y el agua caliente se lleva a la superficie para obtener la energía térmica. Este procedimiento no genera desperdicio de agua por ser recirculada a la mina.

Colombia, posee importantes recursos geotérmicos sobre la Cordillera Central y es por ello que desde el siglo pasado se han realizado diferentes investigaciones buscando encontrar los lugares más óptimos para la generación de energía geotérmica, habiendo sido encontrada en:

- El Nevado del Ruiz, proyecto Nereidas
- Proyecto Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro
- El volcán Azufra, en el sur del país;
- En la región nororiental de Boyacá (Paipa y zonas aledañas),
- El volcán Nevado de Santa Isabel, también en la Cordillera Central.

Para generar la energía geotérmica, “se requieren cuatro factores: primero, una fuente de calor; segundo, un fluido como el agua para transportarlo; tercero, una roca permeable a través de la cual pueda circular el fluido, y, por último, una capa sello (roca impermeable) que no deje escapar el agua. Estos elementos fueron analizados desde la geología, la geofísica y la geoquímica en la zona volcánica de la Cordillera Central en las fronteras de Caldas y Tolima. (Ávila, 2011, p. 14).

Los antecedentes del tema, se encontraron en los siguientes estudios:

En Colombia se encontró el estudio “emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia, Marzolf. (2014), el cual resume los estudios realizados entre 1979 y el 2014, encontrando que se han realizado diversas investigaciones tales como: “El estudio de reconocimiento de campos geotérmicos existentes entre Colombia y Ecuador, realizado por los grupos OLADE, AQUATER, BRGM y GEOTÉRMICA ITALIANA. 1979 a 1982, Estudios de prefactibilidad de desarrollo geotérmico en las áreas de Chiles – Tufiño – Cerro Negro INECCEL – OLADE 1982; OLADE – ICEL. 1986–1987.

En el Volcán Nevado del Ruíz, la CHEC en 1983, realizó Estudios de prefactibilidad de desarrollo geotérmico; por diferentes entidades tales como GEOCÓNSUL 1992; GESA 1997.

Entre el 2000 y el 2014, se realizó el Mapa Geotérmico de Colombia a cargo INGEOMINAS 2000 (Actualmente Servicio Geológico Colombiano). El cual fue actualizado en 2008.



En el área de los Volcanes Azufral y Cumbal, se realizaron estudios de investigación de sistemas geotermales en 1998–1999, 2008–2009; INGEOMINAS y por la Universidad Nacional De Colombia en el año 2006.

En las áreas de Paipa e Iza, El instituto Colombiano geológico INGEOMINAS realizó estudios en los años 2005, 2008 y 2009.

Otros estudios realizados fueron la investigación de los sistemas geotermales de Factibilidad básica para el desarrollo de un proyecto geotérmico en Colombia. ISAGEN – INGEOMINAS – USTDA. 2008, el “Programa estratégico para el modelamiento del sistema hidrotermal magmático para el Proyecto Geotérmico Macizo Volcánico del Ruiz”, a cargo de ISAGEN, UNAL, INGEOMINAS y COLCIENCIAS. 2010–2012. La “Modelación de la estructura resistiva del subsuelo por sondeos magneto telúricos para el Proyecto Geotérmico Macizo Volcánico del Ruíz. Capacitación y entrenamiento en la aplicación de la tecnología de magneto telúrica.” A cargo de ISAGEN, INGEOMINAS, CIF, UNAM y COLCIENCIAS. (2010–2012). Los “Estudios de prefactibilidad sobre recursos geotérmicos en dos áreas seleccionadas ubicadas en el Macizo Volcánico del Ruiz. Los estudios incluyen la elaboración del modelo geotérmico conceptual, selección de sitios para perforación exploratoria, diseño de infraestructura (pozos, plataformas y vías de acceso) y estudios ambientales para el desarrollo de la fase de factibilidad del Campo Geotérmico del Macizo Volcánico del Ruíz. Colombia (ISAGEN, BID/Fondo Japonés. Consorcio NIPPON KOEI – GEOT HERMAL E - INTEGRAL.(2011–2013). Aquí también se realizaron inversiones catalizadoras para energía geotérmica y la complementación de un modelo resistivo del subsuelo, que incluyó, la asesoría y acompañamiento en la etapa de perforación exploratoria, a cargo de ISAGEN, BID/GEF. 2011–2014.

Dada la importancia que tiene el Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro, se realizó el estudio de prefactibilidad que incluyó la toma de fotografías aéreas, restitución cartográfica, estudios de geología de detalle, geofísica, geoquímica, hidrogeología, perforación de pozos de gradiente geotérmico y estudios ambientales para el desarrollo de la fase de factibilidad, el cual estuvo a cargo de ISAGEN, CELEC EP. 2011–2014.

Es de gran importancia identificar que tanto han avanzado los proyectos del Volcán de Chiles y el del Nevado del Ruiz, por ser los que están actualmente en ejecución. Por ello se puede preguntar: ¿Cuál es el nivel de avance de los proyectos geotérmicos en el país y que potencial de aprovechamiento de este tipo de energía tiene la reserva natural del Parque de los Nevados?

## 2. Justificación

El incremento desmedido en el consumo de energía fósil como fruto del incremento de la población y del desarrollo científico- técnico que ha puesto al servicio de la humanidad una gran cantidad de aparatos para todas las áreas de la vida (salud, educación, alimentación, social, y en el campo productivo, reemplazando la mano de obra por maquinaria), es decir, cada día el mundo depende más de la energía para la vida, y a que se descubrió que la energía fósil causa emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es el mayor responsable del calentamiento global y del daño a la capa de ozono, a través del efecto invernadero, esto ha hecho que los Estados emprendan un movimiento mundial, para incrementar el uso de energías renovables entre las que se encuentra la geotermia.

En 1992, se firmó la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que promueve el respeto por el medio ambiente, la búsqueda del desarrollo sostenible y humano, en su principio dos dice:

De conformidad con la Carta de las Naciones Unidas y los principios del derecho internacional, los Estados tienen el derecho soberano de aprovechar sus propios recursos según sus propias políticas ambientales y de desarrollo, y la responsabilidad de velar por que las actividades realizadas dentro de su jurisdicción o bajo su control no causen daños al medio ambiente de otros Estados o de zonas que estén fuera de los límites de la jurisdicción nacional.  
(ONU, 1972)

Este principio, aunque respeta la autonomía de los Estados, promueve el desarrollo de políticas ambientales de protección, tanto para ellos como para sus vecinos. Seis años después se firma el protocolo de Kioto, que es más específico en cuanto a la necesidad de ir más allá, al promover el uso de energías renovables.

El protocolo de Kioto es el fruto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, que en su artículo dos, párrafo 1. Inciso a) apartado i dice: “fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;” (ONU, 1998). Y en su apartado iv) investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;”.

Es por tanto el interés desde 1998, que los países se comprometan con el fomento a la investigación e implementación de energías renovables como la geotérmica, que son además amigables con el medio ambiente por no producir dióxido de carbono.

Por lo tanto al establecer el avance de los proyectos de geotermia, se puede ver que tanto ha sido el interés del Estado en cumplir los acuerdos de Río y Kioto, al explotar el potencial que tiene el país para producir esta forma de energía renovable.

Para las investigadoras encontrar información sobre la aplicación de procesos de bajo impacto ambiental, como el de la energía geotérmica, les permite aprender cada vez más sobre energía limpia y ecología, sus implicaciones en la vida del hombre, en general y en especial de Colombia.

Para la universidad porque desde otras profesiones, está participando en el proyecto de generación de energía geotérmica y desde la ecología porque se puede dar una mirada a su impacto en los ecosistemas.

Para la ecología el primer impacto es en el montaje que según Calero et al (2002), mencionado por Mejía (2013), “este tipo de aprovechamiento de energía presenta determinado impacto en el ambiente intervenido, “causado por emisiones gaseosas y líquidas y por el impacto visual” aunque vale la pena mirar los impactos ocasionados durante el proceso de construcción e instalación.

En el documento menciona que “durante la fase de exploración, perforación y construcción” se pueden producir impactos. La “construcción de caminos de acceso pueden ocasionar la destrucción de bosques o áreas naturales, mientras que la perforación de pozos y la construcción de la planta pueden producir perturbaciones en el ecosistema: ruidos, polvo, humo y posible erosión del suelo (p. 14).

Lo anterior indica que si bien en el largo plazo la energía geotérmica trae beneficios medioambientales, en el proceso de evaluación y puesta en marcha puede tener un impacto negativo en el medio ambiente.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Analizar el estado actual de la explotación de energía geotérmica en Colombia.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

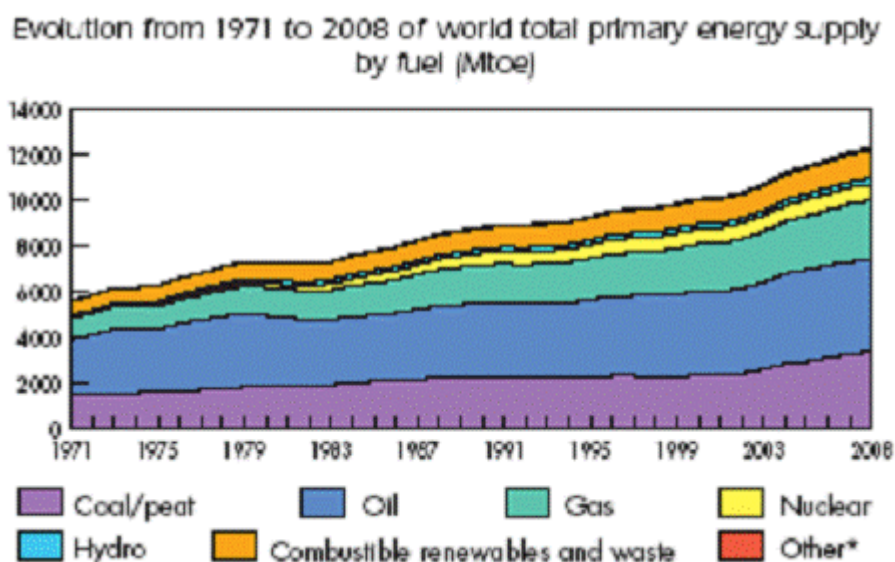
- Definir la línea base de la exploración de energía geotérmica en el mundo.
- Identificar los proyectos vigentes en el país que pretenden implementar el uso de energía geotérmica.
- Establecer la etapa en que van los proyectos de implementación de energía geotérmica en el Parque Nacional Natural de los Nevados y Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.

## 4. Marco Referencial

### 4.1 Marco Teórico

#### 4.1.1 Situación energética a nivel internacional

En el siglo pasado, el desarrollo científico – técnico, se logró debido a un uso extensivo de la energía, el desarrollo de la internet, que ha conectado al mundo entero, requiere de la energía para ser ejecutado, estos avances originaron que los consumos de energía fósil pasaran de 6.000 Mtoe<sup>1</sup> en 1973 a 12.000 Mtoe en el 2008, es decir, que se duplicó.



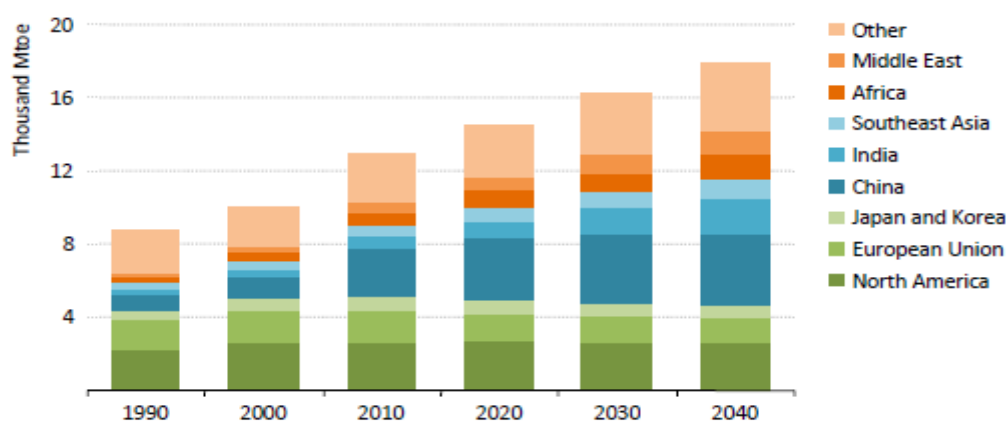
*Figura 1.* Demanda de energía primaria mundial entre 1971 y 2008 expresada en unidades de energía llamadas Mtoe

En la figura 1, se puede observar que hasta el 2008, el consumo de fuentes de energía fósil era mucho mayor que las renovables, y para esta fecha ya habían transcurrido 10 años de haberse firmado el Acuerdo de Kioto, esto indica que el mundo sigue dependiendo de los combustibles fósiles, y que por lo tanto no se está haciendo un

<sup>1</sup>Mtoe: en inglés es Million of tonne of oil equivalente. (1toe= 10 millones de calorías) (Agencia Internacional de Energía, 2009)

verdadero impacto sobre las fuentes de emisión de gases efecto invernadero y por ello continua el daño a la capa de ozono.

La Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental – FUNSEAM. (2016). Proyecta que la demanda de energía al 2040 crecerá en un 30%, siendo mayor el incremento en la China, América Latina y África, pero se espera que el 60% de ella sea cubierta con fuentes de energía alternativas.



*Figura 2.* Evolución de la demanda energética global, 1990-2040

Fuente: FUNSEAM. (2016)

La figura 2 muestra la tendencia de crecimiento de la demanda mundial de energía, se toman para la proyección los Estados Unidos que al igual que la China, son los países con mayor demanda de energía en estos momentos, pero que cambia la tendencia a partir del 2020, con un leve descenso, la Unión Europea demanda en promedio una tercera parte de la demanda de los Estados Unidos y el Japón, y en cambio la tendencia de la China es a aumentar su consumo al igual que los otros países.

Según el informe de energía mundial,

La transformación del sector energético en general, y el eléctrico en particular, liderada por las energías renovables es objeto de un especial análisis por parte de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) en su informe. Para limitar el calentamiento a



menos de 2°C, la AIE en su escenario 450, prevé que en 2040 cerca del 60% de la electricidad generada será a partir de fuentes renovables, con una significativa participación de la generación eólica y solar fotovoltaica. Es por ello, según apunta la propia Agencia, serán necesarios cambios estructurales en el diseño y funcionamiento del sistema eléctrico. Todo ello con el objetivo de garantizar que se estén dando los incentivos adecuados a la inversión y una correcta integración de crecientes proporciones de energía renovable, especialmente eólica y solar, básicamente caracterizada por su intermitencia. (FUNSEAM, 2016, p.3)

Aunque el informe no menciona la geotermia como una oportunidad para satisfacer las demandas actuales y futuras de energía que tiene el mundo, no puede ser dejada de lado, puesto que tiene unas ventajas tales como ser ambientalmente amigable, ser renovable y la inversión fuerte se hace en el proceso de estudio y montaje del proyecto, porque la energía es gratuita.

El informe también pone de manifiesto la importancia del binomio energía y agua, que juegan un papel determinante en la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible en los países, tanto que en 2015, se firmó el documento: “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Esta agenda ofrece “una oportunidad única para poner al mundo en la senda del desarrollo sostenible, donde dentro de los diferentes ODS aparecen tanto el acceso a la energía como al agua limpia y al saneamiento.” (FUNSEAM, 2016, p. 14). Si se traslada el agua de las hidroeléctricas a mejorar la disponibilidad de agua para saneamiento y alimentación, es necesario poner en marcha la producción de energía desde la geotermia u otras formas de energía.

#### 4.1.2 Situación energética a nivel nacional

Colombia ha venido teniendo un desempeño económico de tendencia creciente aunque sin grandes sobresaltos como los que tuvo en el siglo pasado con crecimientos entre 1997 y 1998, pero una fuerte caída entre 1998 y 1999, en la figura siguiente se puede observar cómo ha sido el comportamiento de la economía medida en términos del Producto Interno Bruto (PIB), el comportamiento del sector industrial y la demanda de energía, estas tres variables macroeconómicas parecen tener comportamiento similares pero como se observa en la figura 3, hay casos en donde la demanda de energía se comporta de manera diferente, puesto que a pesar de que el sector industrial, ha tenido una tendencia decreciente, la demanda de energía ha estado por lo general por encima de estas caídas, para junio de 2014 los datos fueron un PIB del 4,3%, una demanda de energía del 3,4% y el sector industrial con un decrecimiento del 1,4%. Estos datos indican que el país tiene otros motores de crecimiento, como es el sector comercial y de servicios, que de igual manera generan demandas de energía.

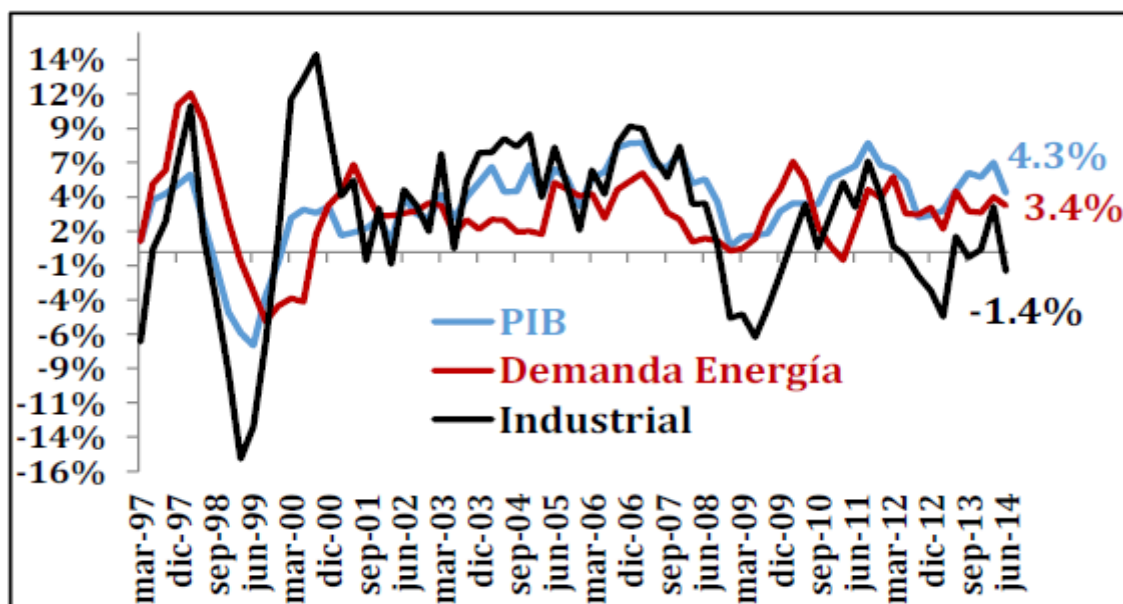


Figura 3. Crecimiento de la Oferta agregada en Colombia

Fuente: UPME (2015) con datos del DANE

La Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, dentro del plan de expansión 2014 – 2028, identificó también el comportamiento de los precios del gas, la energía, y los combustibles y los comparó con la inflación en Colombia, encontrando los siguientes comportamientos:

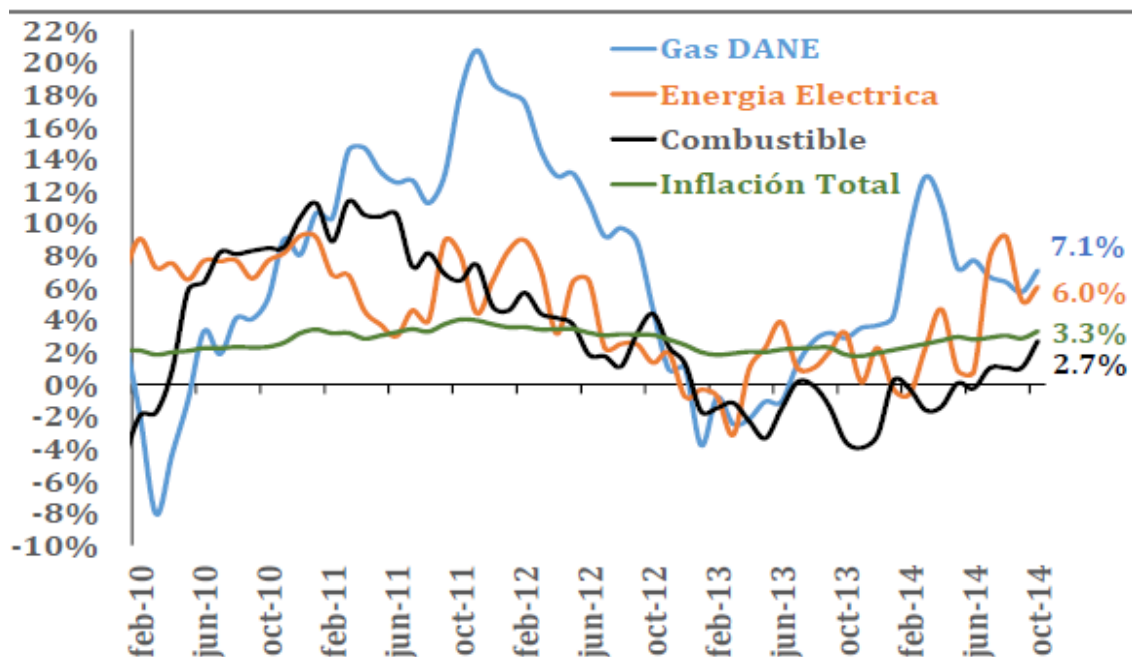


Figura 4. Inflación Versus Variación anual de precios energía eléctrica y gas en Colombia

Fuente: UPME (2015) con datos del DANE

Como se puede observar en la figura 4, entre febrero de 2010 y octubre de 2014, la inflación ha estado entre el 2 y el 4%, situándose en el 3.3% para el 2014, el gas, es el que ha tenido un comportamiento de precios con más altibajos en el 2010, su precio estuvo con un crecimiento negativo en el 8% a llegar en el febrero de 2012 a tener incrementos del 22%, con una caída a partir de marzo del 2012 hasta febrero de 2013 donde cayó a menos 2% y empezó a recuperarse nuevamente a llegar en febrero del 2014 al 14% y volver a descender hasta situarse en 7,1% en octubre de 2014. La energía eléctrica por su parte inicia en febrero de 2010 con un 9% y empieza a descender el precio hasta tocar la inflación total en junio de 2011, de ahí vuelve a subir y bajar

sucesivamente hasta llegar al 2% negativo y vuelve a tener alzas y bajas hasta llegar a octubre del 2014 con un 6%. Los combustibles parten de un 2% negativo en febrero de 2010, suben en junio del mismo año al nivel de la inflación que estuvo en ese período alrededor del 7%, lo sobre pasa y en junio de 2011 está alrededor del 12% y se mantiene hasta junio del mismo año, en 2012 tiene una tendencia decreciente durante el primer semestre, pero en octubre se recupera nuevamente por encima de la inflación, en febrero de 2013 cae al 2% y en junio de 2013, toca la línea de cero, vuelve a bajar al 4% y sube a la línea cero en febrero de 2014, para recuperarse en octubre de 2014 al 2,7%.(UPME 2015)

Esta variación en los precios de los combustibles ocasiona sobrecostos o pérdidas a las empresas que comercializan estos productos. Y también la búsqueda de fuentes de energía alternativas que como la geotermia tiende a generar utilidad en corto plazo porque la inversión inicial se recupera y de ahí en adelante el costo de producción es mínimo porque la energía como tal es gratuita.(UPME 2015)

La proyección de la demanda eléctrica en Colombia, se realiza por la UPME, teniendo en cuenta la revisión de Variables Económicas, Sociales y Climáticas.

En Colombia, según este estudio hay una baja proyección de crecimiento económico, para el período 2016 – 2020, lo que se debe a los siguientes factores:

- ♣ Acentuamiento en la caída del precio del petróleo (principal fuente de ingresos por divisas de Colombia) (UPME, 2016, p. 3)

- ♣ La persistencia de la devaluación del peso colombiano frente al dólar, 35% anual al finalizar enero de 2016, hecho que está aumentando la inflación dado el mayor precio de bienes transables, insumos y gas natural, y por ende costos de producción, comercialización así como precios al consumidor. (UPME, 2016, p. 4)

♣ El incremento en la previsión del déficit de cuenta corriente, el cual estima el Banco de la República en 8% del PIB en 2016. (UPME, 2016, p. 4)

♣ La reducción en los flujos de inversión extranjera directa que ha generado la disminución de precios del petróleo en la actividad minero – energética, principal receptor de flujos de capital a largo plazo. (UPME, 2016, p. 4)

Con estos datos se empieza a proyectar la demanda de energía y la UPME, la proyecta para grandes consumidores, que son: Rubiales, Ecopetrol, Drummond Sociedades Portuarias, y exportaciones Panamá, así 2017, un promedio de consumo de 4.744 EE de GCE (GWh) – R y para 2018 un promedio de 6.013 EE de GCE (GWh) – R.

En el 2016, debido al cambio climático, la demanda de energía no pudo ser cubierta y el gobierno tuvo que recurrir a recortes en el servicio por horas a algunos municipios de Colombia. Es por lo tanto una necesidad que el país desarrolle un sistema energético alternativo, que le permita cubrir los faltantes en la demanda y que garantice el servicio a pesar de que los fuertes veranos sequen los embalses.

#### **4.1.3 Sistema Geotérmico.**

Hochstein. (1990) mencionado por Dickson&Fanelli. (2003) los sistemas geotérmicos se pueden referenciar como “agua convectiva en la corteza superior de la tierra la cual, en un espacio confinado, transfiere calor desde una fuente de calor hasta una abertura de calor, usualmente la superficie libre”. (Citado por Mejía, 2013, p. 21)

Afirman Dickson&Fanelli. (2003) que un sistema geotérmico, (...) “está constituido por tres elementos principales así: una fuente de calor, un reservorio y un fluido, el cual es el medio que transfiere calor”. De igual forma menciona que las fuentes de calor pueden ser de gradientes de alta temperatura ( $> 600$  ° C) y con profundidades

superficiales, hasta temperaturas relativamente bajas. “El reservorio es un volumen de rocas calientes permeables de los cuales el fluido que lo circunda extrae calor. Generalmente el reservorio se encuentra rodeado de una capa impermeable y “está conectado a un área de recarga superficial a través de la cual el agua meteórica puede reemplazar los fluidos que se escapan del reservorio”. Esta agua “a menudo contiene sustancias químicas disueltas y gases tales como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc. (Citado por Mejía, 2013, p. 21)

El desarrollo de los proyectos con energía geotérmica se puede dividir en cuatro fases:

- a) Exploración
- b) Exploración profunda (perforaciones)
- c) Implementación de la planta
- d) Monitoreo tanto de las reservas como de la operación de la planta

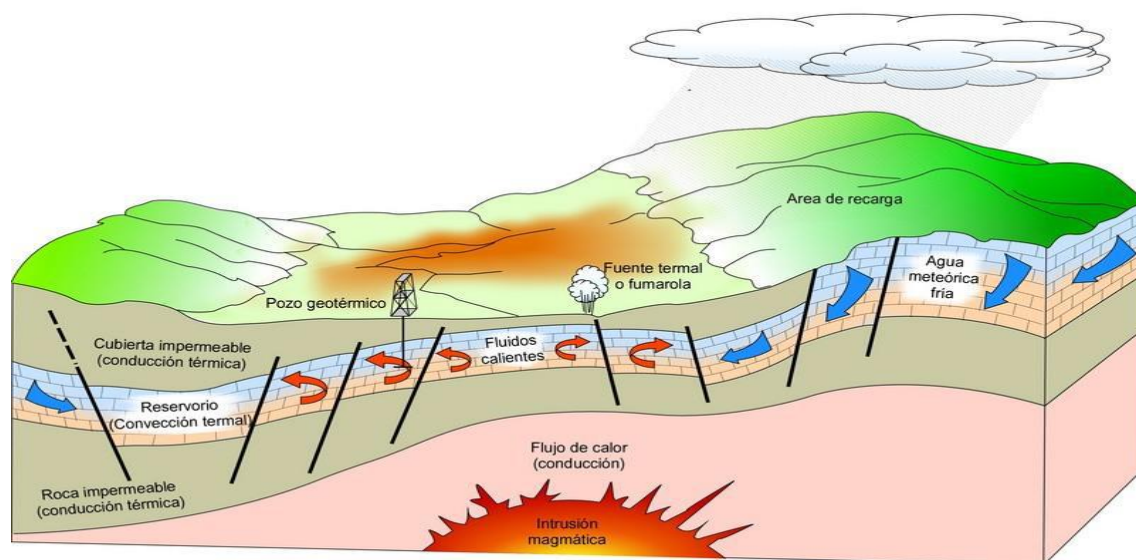


Figura 5. Representación de un sistema térmico ideal

Fuente: Dickson et al (2004) Citado por Mejía, 2013, p. 21)

En la fase inicial (exploración) se hace una evaluación del desempeño incluyendo el punto de vista geológico (vulcanológico), una prospección geofísica (eléctrica, gravimétrica, magnética y algunas veces sísmica), a la vez que se analiza el pozo para determinar la geoquímica de aguas y gases. Los datos de dicha valoración son comparados y usados para localizar una reserva que tenga potencial, la cual puede ser identificada plenamente por medio de la fase de perforación.

La principal actividad en la exploración profunda es la perforación de pozos, sin embargo en esta fase, también se desarrolla actividad geocientífica. De tal forma que se define la estratigrafía de los pozos, para ligar el perfil geológico hallado, (por medio de un registro) a los datos hallados en la etapa inicial. (UPME, 2003, p. 7)

La forma como está compuesto el pozo por dentro, se usa además para establecer "las características termodinámicas y la medida de la productividad del pozo en términos del flujo de masa y de la entalpía.". (UPME, 2003, p. 8), esto permite que los ingenieros calculen el tamaño del pozo, cuanta es su reserva y que capacidad tiene de mantener la producción durante la vida útil del proyecto.

Los resultados de esta exploración profunda y las características del fluido geotérmico determinan el tipo de planta a escoger:

- a) Para generación eléctrica cuando se produce fluido de alta entalpía
- b) Para calentamiento cuando se produce fluido con alta y baja entalpía.

El tamaño del recurso presente determinará el plan de perforación a ejecutar, a la vez que el diseño de la planta, las tuberías y el sistema de reinyección de agua. Las reservas geotérmicas son más dinámicas que las de hidrocarburos; por consiguiente se desarrolla un continuo monitoreo y evaluación del

comportamiento del recurso tanto en la exploración como en la implementación con el fin de asegurar que el recurso es adecuado para entregar la energía que se le demandará. (UPME, 2003, p. 8)

#### 4.1.4 Impacto ecológico de la producción de energía geotérmica

Tabla 1. Impactos de la producción de energía geotérmica

Ventajas	Desventajas
Disminución en el uso de los combustibles tradicionales, que conlleva menor emisión de CO <sub>2</sub>	Emisiones gaseosas y líquidas que afectan el entorno
Mínima generación de residuos en relación a los producidos por otras energías convencionales	Impacto visual, en el paisaje por la inclusión de maquinaria y equipos en zona rural tipo páramo. Destrucción de bosques o áreas naturales para la construcción de caminos de acceso
Utilización de un recurso renovable	Perturbaciones en el ecosistema por ruido, polvo, humo y posible erosión del suelo
Fáciles de dismantelar y no requieren custodiar sus residuos durante millones de años, como ocurre por ejemplo con las energías nucleares. (Erenovable.com, 24 de junio de 2015) (negrilla del texto original)	Uso intensivo de agua
La producción de energía es segura ya que no contaminan, ni tampoco suponen un riesgo para la salud, y sus residuos además no crean ningún tipo de amenaza para nadie. (Erenovable.com, 24 de junio de 2015) (negrilla del texto original)	contaminación del suelo asociado a las fuentes geotérmicas, por presencia de: sulfuros de hidrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, metano y ácido bórico, junto con cantidades de mercurio, arsénico, y otros elementos (Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)



La fuente de energía es

inagotable.(Erenovable.com, 24 de junio de

2015)(negrilla del texto original)

---

Fuente: Construcción propia con datos de Pearson Educación (2010),

- **Impactos sobre el suelo:** Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009) establece los siguientes:- hundimiento de tierra debido al drenaje de aguas calientes o por el vapor de napas subterráneas. – contaminación del suelo asociado a las fuentes geotérmicas, por presencia de: sulfuros de hidrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, metano y ácido bórico, junto con cantidades de mercurio, arsénico, y otros elementos. – Presencia de sismicidad leve por la reinyección de fluidos en el terreno durante la explotación. - erupciones hidrotérmicas por la presión del vapor en los acuíferos cercanos a la superficie, y derrumbes.
- **Impacto sobre el recurso agua.** para extraer energía de las rocas secas calientes, se requieren enormes cantidades de agua, para hacerla circular en un sistema reducido para aprovechar el calor al máximo. Lo que genera agua sucia y contaminada que se ve antiestética en el geiser. Abbasi (2000), citado por Ed. (2009)
- Contaminación de las aguas subterráneas, por filtración de arsénico, boro y mercurio
- Contaminación del agua superficial, por depósitos de fluidos geotérmicos, entre los que se encuentra una amplia gama de iones (sodio, potasio, calcio, flúor, magnesio, silicio, iodo, antimonio, etc.) y sustancias tóxicas (boro, litio, arsénico, ácido sulfhídrico, mercurio, rubidio y amoníaco). Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)
- Agotamiento de las aguas subterráneas, debido a las altas temperaturas o por rupturas en la cubierta del pozo. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)

- Contaminación térmica de las aguas, superficiales o circundantes del pozo. Debido a que la producción de calor por unidad de electricidad en las plantas geotérmicas es mayor que en las plantas alimentadas con combustibles fósiles o plantas nucleares. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)

***Impactos sobre el aire.***

- Contaminación del aire por gases no condensables que se transportan en el vapor y son liberados a la atmósfera. Compuestos principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), con algunos rastros de amoníaco, hidrógeno, nitrógeno, metano, radón y especies volátiles de boro, arsénico y mercurio. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)
- El ácido sulfhídrico puede causar molestia por su olor, pero en concentraciones altas es capaz de dañar las vías respiratorias e incluso ser fatal. Sus emisiones pueden ser reducidas con tecnología de abatimiento. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)
- Baja presencia de amoníaco (irritante) y radón (cancerígeno).

***Impactos asociados a la emisión de ruido.***

- Altos niveles de ruido en las fases de exploración, construcción y producción, a niveles que algunas veces superan el umbral del dolor (140 dBa). Obliga a que los trabajadores deban protegerse los oídos o colocar silenciadores a las máquinas. El ruido fuera del lugar se puede reducir con la restricción de operaciones ruidosas a las horas del día y construyendo pantallas de material que absorba el ruido (como por ejemplo, vegetación). En la fase operativa, se pueden mantener niveles de ruido bajo, de forma que a un kilómetro el ruido sea prácticamente indistinguible del ruido ambiental. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)

### ***Impactos sobre la vida silvestre.***

- Bajo impacto sobre la vida silvestre. puede ser planificado para reducir los impactos que se generan sobre el ecosistema del área proyecto.
  - En la fase de construcción es necesario talar una gran cantidad de árboles, lo que genera impacto en la biodiversidad del entorno del proyecto. Esto puede ser recuperado mediante un programa de reforestación. Ed. (2009)

### ***Impacto Visual.***

- Las plantas geotérmicas se ubican generalmente en lugares de una gran belleza natural, o con atractivos tales como geysers, o balnearios de piscinas calientes, restándole atractivo a estos lugares. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)
- Las centrales deben ser construidas en lugares en que haya reservas geotérmicas. Se puede disminuir el impacto en el paisaje, disminuyendo el uso del suelo. Una manera de lograrlo es con técnicas de perforación direccionadas, vale decir, muchos pozos son perforados desde un pozo principal. Benigna Energy (1998), citado por Ed. (2009)

Sin embargo las áreas planteadas para el proyecto geotérmico se presentan en inmediaciones de fincas, que aunque no están muy cerca unas de otras, si están relativamente cerca a los centros de exploración de energía. (Citado por Mejía, 2013, p. 65)

El proceso de generación geotérmica en las Nereidas, impacta medioambientalmente el área de trabajo para la exploración de los pozos, con el ingreso de las maquinarias, el polvo y ruido de la exploración, la ruptura de suelos y la vegetación que en ella hay.

#### 4.1.5 Comparativo entre las distintas formas de energía renovable

Tabla 2. Comparativo entre las distintas formas de energía renovable

Variable a comparar	Combustible Agrícola (biomasa)	Eólica	Solar	Geotérmica
Definición	<p>Biomasa es principalmente compuesta de carbón, oxígeno, hidrógeno y pequeñas fracciones de elementos minerales como potasio, fósforo, sulfuro y otras. Los componentes principales son normalmente conocidos como celulosa y hemicelulosa. Cuando la biomasa es quemada, el carbono reacciona con el oxígeno produciendo bióxido de carbono, agua y calor. Agua y bióxido de carbono en la</p>	<p>Llámesse energía eólica, a la energía que puede obtenerse de las corrientes de viento. (Upme, Glosario)</p>	<p>La energía solar es la energía transportada por las ondas electromagnéticas que proviene del sol. La emisión de energía desde la superficie del sol se denomina radiación solar; y a la energía emitida, energía radiante. La energía radiante que incide sobre la superficie terrestre por unidad de área (irradiación o insolación), se mide en kWh/m<sup>2</sup>; y la potencia radiante que incide sobre la superficie terrestre por unidad de área (irradiancia), se mide en kW/m<sup>2</sup>. La radiación solar que incide sobre la Tierra</p>	<p>La energía geotérmica es la que se obtiene por la utilización de fluidos de fuentes naturales, ésta forma de energía se explota comercialmente en varios lugares del mundo. Pero existe otra forma de extracción de energía geotérmica y que se encuentra en casi todos los países y es la obtenida de rocas calientes profundas, a las cuales se les bombea agua a presión para generar un depósito de una pequeña cantidad de agua dispersada el cual es accionado mediante un segundo</p>

Variable a comparar	Combustible Agrícola (biomasa)	Eólica	Solar	Geotérmica
	<p>atmósfera más energía solar y algunos compuestos inorgánicos, son absorbidos por las plantas verdes procesándolos, produciendo carbohidratos que posteriormente son convertidos en madera y tejido vegetal; En otras palabras; nueva biomasa es creada (Turare, s.f. p.156)</p>		<p>tiene componentes directa, radiación que incide sobre la Tierra desde el sol, sin cambiar de dirección; y difusa, radiación que es dispersada en todas las direcciones debido a la presencia de moléculas y partículas; la radiación global es la suma de la componentes directa y difusa. (Esteve, 2011, p. 19)</p>	<p>pozo situado a cierta distancia del primero, y el agua caliente se lleva a la superficie para obtener la energía térmica. Este procedimiento no genera desperdicio de agua por ser recirculada a la mina.</p>
Avance científico	<p>Gasificador Updraft, Gasificador Downdraft, Gasificador Crossdraft, descritos por Estrada y Zapata (2004, pp. 157-158).</p>	<p>Existen en el mundo hoy en día más de 100 compañías fabricantes de aerogeneradores, al menos tres de las cuales cuentan con presencia en países latinoamericanos</p>	<p>Existen dos tecnologías: 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)</p>	<p>En Estados Unidos se están utilizando herramientas sofisticadas para el análisis y exploración de las zonas geotérmicas, con “sísmica 3-D, una técnica habitualmente empleada en la industria</p>

Variable a comparar	Combustible Agrícola (biomasa)	Eólica	Solar	Geotérmica
		<p>como Brasil y Argentina (REN21, 2014 &amp; Energynet DK, 2015 Citados por (UPME, 2015a p. 38)).</p>	<p>Los módulos fotovoltaicos tienen una potencia nominal, el Vatio Pico (Wp); que corresponde a la potencia máxima que puede generar dicho módulo, a 25°C de temperatura y con una irradiancia de 1kW/m<sup>2</sup>. Su producción de corriente eléctrica a un voltaje dado (fijo para el panel) varía con la temperatura, lo cual especifica el fabricante del panel en la forma de curvas de potencia. (Esteve, 2011, p. 20)</p>	<p>hidrocarburífera.” (Tendencias21. 2017, párr. 6). logrando con ello que no se perforare innecesariamente</p>
Factibilidad técnica en Colombia	Existen los recursos técnicos para el desarrollo de los gasificadores.	Existe la tecnología, ya hay un proyecto en la Guajira, con una producción de 19,5 MW conectados al SIN (capacidad que no ha incrementado	Para su aplicación requiere condiciones estándar de medida CEM : Irradiancia solar: 1000 W/m <sup>2</sup> Distribución espectral: AM (air mass) 1,5 G	Existe la tecnología para el montaje de las plantas geotérmicas en Colombia.

Variable a comparar	Combustible Agrícola (biomasa)	Eólica	Solar	Geotérmica
		desde su instalación en el año 2003).(UPME,2015 a, p.38); que junto con el Caribe son los únicos que poseen vientos para proveer energía.	(Global). Temperatura de celular 25° C, (Portabella, 2010, p. 2); las cuales se dan en algunas zonas de Colombia, no en todas, en la zona del proyecto Geotérmico no se dan	
Costos	El costo puede ser alto, porque genera una lucha frente a la producción de alimentos. En caso de usarse residuos de la producción de alimentos como las orugas de olivo, o el bagazo de la caña, disminuyen los costos.	La energía eólica, a pesar de la disminución en el precio de las turbinas en años recientes y aun cuando se toman en cuenta las externalidades de otras tecnologías es muy costosa en Colombia –Este costo aumenta cuando se toman en cuenta las negociaciones sociales necesarias para instalar este	Según el estudio de Ramos (2016), el promedio de producción de un kWp, es de 2.800 dólares, y obtuvo como conclusión: El análisis financiero realizado evidencia que actualmente la tecnología solar fotovoltaica no es rentable para la industria en Colombia y que los beneficios expuestos en la ley 1715 de 2014 no garantizan su	La geotermia tiene los mayores costos de capital por MW instalados. (UPME, 2015a p.32) Costos relativamente estables al estar asociados principalmente con tecnologías maduras igualmente utilizadas en el caso de plantas térmicas operadas con combustibles convencionales. (UPME, 2015a p. 33) la cogeneración a partir de bagazo de

Variable a comparar	Combustible Agrícola (biomasa)	Eólica	Solar	Geotérmica
		<p>tipo de proyectos en las zonas con potencial en el país (departamentos de La Guajira y Atlántico). (García, H. 2014, p. 25).</p>	<p>implementación; la razón principal es que los costos de estos relativamente altos a causa de la escasa madurez del mercado y bajos precios de la energía en el mercado regulado o tradicional. (p. 17)</p>	<p>caña de azúcar y la geotermia son dos tecnologías con potencial para diversificar la capacidad instalada en Colombia (García, 2014, p.24 ).</p>
Eficiencia	Es eficiente para proyectos pequeños rurales.	Es muy eficiente ha mejorado mucho por el desarrollo a nivel mundial de los	Es eficiente para zonas no interconectadas (ZNI)	<p>Un claro problema inherente a las energías renovables será el que muchas de ellas <b>cuentan con una naturaleza difusa</b>, con la excepción de la energía geotérmica la cual, sin embargo, sólo es accesible donde la corteza terrestre es fina, como las fuentes calientes y los géiseres.(Erenovable.com, 24 de junio de</p>



Variable a comparar	Combustible Agrícola (biomasa)	Eólica	Solar	Geotérmica
				2015)(negrilla del texto original)
Beneficios sociales	Intensiva en mano de obra rural	Disminuir el costo promedio de la energía para la Costa Atlántica.	Llevar energía a zonas donde no las hay.	Las aguas residuales de los procesos de generación, pueden ser reutilizadas en el mismo pozo, o en atractivos turísticos, mejorando la calidad de vida y los ingresos de las comunidades del entorno.
Desventajas	Compete con la producción de alimentos, cuando se desarrolla industrialmente. En la combustión genera dióxido de carbono, que afecta el medio ambiente, pero puede ser compensado por los cultivos.	Deterioro del paisaje Aumento del ruido Mortalidad de aves (García, 2014, p. 11).	Altos Costos de implementación. No se puede implementar en todas las zonas, lo que hace que no se puedan disminuir los costos en el mediano plazo.	Deterioro del paisaje en el entorno del proyecto.

## **4.2 Marco Legal**

### **4.2.1 Marco Legal Internacional.**

Se realizó una investigación vía internet, encontrando que no existe una legislación internacional común a todos los proyectos geotérmicos, se pueden considerar como normas comunes el Acuerdos de Río de Janeiro (1972) y el Protocolo de Kioto (1997). Por ser puestas en común para la protección del medio ambiente y la búsqueda de soluciones alternas de producción de energía limpia. También el convenio Organización Internacional del Trabajo -OIT No. 169, que son “las aspiraciones de los pueblos indígenas de asumir el control de sus propias instituciones, formas de vida y de su desarrollo económico y social” (OIT, 1989), por cuanto si el proyecto geotérmico afecta los territorios indígenas, el Estado tendrá que buscar un acuerdo con ellos para poder desarrollar el proyecto.

Por otro lado cada país, desarrolla su normatividad para el desarrollo de la energía geotérmica, y por ello no se trae a este espacio.

### **4.2.2 Leyes.**

Ley 99 de 1993, por la cual se creó el Ministerio del Medio Ambiente, cuya principal función fue realizar todas la gestión para la protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables del país.

La Ley 142 de 1994 conocida como La Ley de Servicios Públicos Domiciliarios, y la ley 143 de 1994, por la cual se creó la “División de Ahorro, Conservación y Uso Eficiente de la Energía”, como dependencia del Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas (INEA), que estaba orientada principalmente a la demanda de energía y le asignó a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) la función de

establecer la forma de satisfacer la demanda energética, teniendo en cuenta los recursos existentes, los cuales se clasifican en convencionales y no convencionales.

Ley 508 (julio de 1999) con ella se expide el Plan Nacional de Desarrollo 1999-2002, y- el Artículo 6° relaciona los principales proyectos de inversión del Plan Nacional de Inversiones Públicas y en entre ellos se mencionan: El proyecto Azufral y el proyecto Las Nereidas, que ya corresponden a energía geotérmica.

La Ley 697 de 2001 mediante la cual se promueve la utilización de energías alternativas y se da al Uso Racional y Eficiente de Energía (URE) el carácter de interés general, precisa el alcance de las energías renovables y alternativas, y a nivel institucional, asigna en cabeza del Ministerio de Minas y Energía, la responsabilidad de la promoción y adopción de programas que aseguren el uso racional y eficiente de este recurso. Se crea el Programa para la promoción del Uso Racional y eficiente de energía (PROURE), y define las energías alternativas a considerar: solar, eólica, geotérmica, biomasa y las pequeñas centrales hidroeléctricas que no superen los 10 MW.

Ley 788 de 2002. Esta Ley busca incentivar la inversión en la producción de energía alternativa y para ello exime de impuesto a la renta durante 15 años a las empresas que vendan energía eléctrica obtenida a partir de biomasa, viento y residuos agrícolas, exige que la reducción sea certificada en los términos del Protocolo de Kioto y que además se invierta el 50% de los ingresos de la venta en obras de beneficio social. Igualmente exime del IVA, la importación de maquinaria y equipos con destino al desarrollo de estos proyectos.

Ley 1665 de julio de 2013. Con esta norma se aprueba la creación para Colombia del Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), el cual fue realizado en Bonn –Alemania en el 2009 y que buscó generar una política

mundial común para todos los países que lo adopten y que promueve la protección del medio ambiente y el generar estrategias para la protección de la capa de ozono.

Ley 1715 de mayo de 2014. Esta norma regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

#### **4.2.3 Decreto.**

Decreto reglamentario 3683 de 2003, crea la Comisión Intersectorial (CIURE) presidida por Ministerio de Minas y Energía, integrada por los ministerios de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Departamento Nacional de Planeación, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Colciencias y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas(IPSE), con funciones de coordinación de las políticas que diseñe cada entidad en lo de su competencia, además de impulsar programas y proyectos, con destino efectuar el seguimiento del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía(URE), y coordinar la consecución de recursos a nivel nacional e internacional, entre otras.

Decreto 2501 de 2007, Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica.

#### **4.2.4 Resoluciones.**

- Resolución 520 de 2007. Por medio de la cual se establece el registro de proyectos de generación con el cual deben ser registrados los proyectos de generación y cogeneración de energía eléctrica a operar en el Sistema Interconectado Nacional.
- Resolución 638 de 2007. Por medio de la cual se modifica el artículo 4º y anexos 1, 2 y 3 y se adicionan dos artículos a la Resolución UPME número 0520 del 9 de octubre de 2007.

- Resolución 186 de 2012. por la cual se adoptan Metas Ambientales, de que trata el literal j) del artículo 6° del Decreto 2532 de 2001 y el literal e) del artículo 4° del Decreto 3172 de 2003.
- Resolución 045 de 2016. Por la cual se establecen los procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención del gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014 y se toman otras determinaciones.
- Resolución 1283 de 2016. Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.

## 5. Diseño Metodológico

### 5.1 Tipo de investigación

La investigación utilizada fue cualitativa de enfoque descriptivo, “El enfoque cualitativo, a veces referido como investigación naturalista, fenomenológica, interpretativa o etnográfica, es una especie de "paraguas" en el cual se incluye una variedad de concepciones, visiones, técnicas y estudios no cuantitativos (Grinnell, 1997), citado por Hernández, Fernández, & Baptista. (2006, p. 8).

Más adelante Hernández, Fernández, & Baptista, citando a Grinnell (1997) y Creswell (1997) describen a las investigaciones cualitativas como estudios:

- Que se conducen básicamente en ambientes naturales, donde los participantes se comportan como lo hacen en su vida cotidiana.
- Donde las variables no se definen con el propósito de manipularse ni de controlarse experimentalmente.
- En los cuales las preguntas de investigación no siempre se han conceptualizado ni definido por completo.
- En los que la recolección de los datos está fuertemente influida por las experiencias y las prioridades de los participantes en la investigación, más que por la aplicación de un instrumento de medición estandarizado, estructurado y predeterminado.
- Donde los significados se extraen de los datos y no necesitan reducirse a números ni deben analizarse estadísticamente (aunque el conteo puede utilizarse en el análisis). (p. 10)

Los proyectos de geotermia existentes, se dan en ambientes naturales, no pueden manipularse los resultados, simplemente se hace una revisión de su estado de avance y se describe, se recolectaron datos distintos en cada lugar de revisión porque cada

proyecto está influido por sus propias condiciones sociales, físicas, económicas y culturales...

## **5.2 Fuentes de información**

Las fuentes de información propuestas fueron de dos (2) tipos:

Información primaria: Se propuso una entrevista estructurada a los encargados del desarrollo geotérmico en el proyecto las Nereidas para conocer de primera mano el avance de la obra y a funcionarios de ISAGEN, para los restantes proyectos del país

Información secundaria: Se obtuvo de la página de ISAGEN de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), que contiene toda la información sobre las aplicaciones de energías alternativas, y con fácil acceso a través de internet. Además, para la línea base, se accedió a bases de datos libres como Scielo.org, Google Académico, entre otras.

## **5.3 Población**

Por ser una revisión de avance la población objetivo son los proyectos de exploración y/o desarrollo en energía geotérmica que haya en Colombia y que pueda ser documentados en su estado actual, se han identificado hasta la fecha:

- El Nevado del Ruiz, proyecto Nereidas
- Proyecto Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro
- El volcán Azufral, en el sur del país;
- En la región nororiental de Boyacá (Paipa y zonas aledañas),
- El volcán Nevado de Santa Isabel, también en la Cordillera Central.

## **5.4 Indicadores**

Las variables de investigación se tomaron desde los objetivos propuestos, tal y como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 3. Matriz de indicadores

Objetivos específicos	Indicadores de logro	Instrumento de recolección
Definir la línea base de la exploración de energía geotérmica en el mundo.	Proyectos Geotérmicos definidos	Información Web
Identificar los proyectos vigentes en el país que pretenden implementar el uso de energía geotérmica.	Estado actual de los proyectos de geotermia	Información Web
Establecer la etapa en que van los proyectos a implementación de energía geotérmica en los proyectos del Parque Nacional Natural De Los Nevados y Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.	Proyección de los avances en los proyectos	Información Web y entrevista estructurada a responsables de los proyectos

## 5.5. Recolección de información

### 5.5.1 Contactos institucionales y presentación del proyecto.

Previo aval otorgado por la UNAD, se realizó el envío de la carta a las instituciones que manejan información sobre geotermia, para obtener el aval institucional para la recolección de la información.



### **5.5.2 Diseño y prueba de los instrumentos y de los instructivos**

**correspondientes.**

### **5.5.3 Equipo de investigación y selección y capacitación del personal de campo.**

El equipo de trabajo está conformado por las dos estudiantes. La recolección de información se realizó mediante búsqueda activa en internet de otros trabajos que existan al respecto.

### **5.6 Resultados esperados**

- Construir la línea base de la exploración de energía geotérmica en el mundo.
- Identificar los proyectos que hay en el país de energía geotérmica.
- Etapa de avance de dos proyectos: Parque Nacional Natural de los Nevados y

Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.

## 6. Línea Base de la Geotermia

La línea base de la geotermia, se desarrolló desde lo mundial, (incluye Europa, Asia, América del Norte, América Central y por último América del Sur), dejando por fuera a Colombia, que se desarrolla después.

Tabla 4. Resumen de los proyectos geotérmicos encontrados a nivel mundial

País	Nombre del Proyecto	Estado o Alcance
Serbia	<i>Analysis and possible geothermal energy utilization in a municipality of Panonian Basin of Serbia.</i> (Análisis y posible utilización de energía geotérmica en un municipio de la Cuenca Panoniana de Serbia, (traducción nuestra))	Municipio Indjija, ubicado al norte del país, exploración de tres pozos pero el marcado como “(Indj-3 / H) no obtuvo los resultados esperados y fue evaluado negativo.” Se perforaron los otros dos pozos, el demarcado como Indj-2 / H que obtuvo evaluación para el uso potencial del fluido geotérmico, con un potencial de 1,25 a 106m <sup>3</sup> de agua que se pueden obtener anualmente y el Indj-1 / H, que puede generar un total de 10,85 GWh al año.
Suiza	<i>“Framing deep geothermal energy in mass media: the case of Switzerland”</i> ,	Analizar cómo la energía geotérmica profunda se ha discutido en los medios de comunicación en Suiza, con un énfasis en los actores, así como en los argumentos y marcos que utilizan.
Alemania	el discurso público sobre la energía geotérmica en los periódicos alemanes entre 1999 y 2009” (traducción nuestra),	Analizó 570 artículos encontrando un discurso mixto, fue muy positivo antes de 2005 y luego se volvió escéptico, sobre todo en 2008 y 2009, posiblemente debido al derrame de agua ocasionado por las actividades de perforación en Wiesbaden, cf. (Citado por Stauffacher, et al; 2015).
China	<i>A review of geothermal energy resources, development, and applications in China: Current status and prospects</i> ”, “revisión de los recursos de energía geotérmica, el desarrollo y aplicaciones en China: situación actual y perspectivas”. (traducción nuestra).	El estudio encontró que existen abundantes reservas de energía geotérmica con 3.06 x 10 <sup>18</sup> kWh / año, lo que representa el 7,9% de los recursos mundiales geotérmicos. Sin embargo, hay una alta dominancia de la temperatura media-baja, que no sirven para la generación de energía. La alta temperatura se encontró concentrada principalmente en al sur del Tíbet, en el oeste de Yunnan, oeste de Sichuan, y en Taiwán. (Jailing, et. Al; 2015).
China	<i>Heat extraction of novel underground well pattern systems for geothermal energy exploitation.</i> Extracción de calor de nuevos sistemas de patrones de pozos subterráneos para la explotación de la energía geotérmica”,	Describe varios proyectos de geotermia a nivel mundial, tales como: pico Fenton colina y del desierto en los Estados Unidos, Rosemanowes proyecto en el Reino Unido, Soultz-sous-A ^ ets proyecto en Francia, Hijiori proyecto en Japón, proyecto de la cuenca Cooper en Australia, Deep Heat Mineras proyectos (DHM) en Suiza, y Schoenebeck bruto proyecto en Alemania (Citado por Jiang, et al; 2015)

País	Nombre del Proyecto	Estado o Alcance
	(traducción nuestra)	
Irán	<p><i>“A comparative thermodynamic analysis of two tri-generation systems utilizing low-grade geothermal energy”</i> “Un análisis termodinámico comparativo de dos sistemas de trigeneración la utilización de la energía geotérmica de baja calidad”, (traducción nuestra)</p>	<p>encontró diferencias en las unidades de generación de energía, al comparar dos métodos: el ciclo de Rankine orgánico que se emplea en un sistema y el ciclo de Kalina, Y que utiliza una máquina de absorción de bromuro de litio/agua y un calentador de agua</p> <p>El estudio concluyó que el sistema basado en el ciclo de Kalina es más eficiente ya que su máxima eficiencia segunda ley es 50,36%, mientras que el sistema basado en ciclo de Rankine orgánico tiene una segunda máxima eficiencia ley de 46,51%.</p> <p>Los resultados también indican que, para una temperatura de la fuente de calor de 120 °C, el sistema basado en ciclo Kalina puede producir más energía que el otro sistema en torno al 12,2%, en las condiciones optimizadas</p>
Australia	<p><i>“Heat transfer enhancement of geothermal energy piles”</i> “Mejora la transferencia de calor de las pilas de energía geotérmica”, (traducción nuestra),</p>	<p>para mejorar las propiedades térmicas de los elementos en una pila de energía geotérmica, mediante la optimización geométrica, del número de tubos y la disposición que debe ser realizada para reducir la resistencia total de la pila térmica. Los fluidos nano se pueden utilizar como portadores de calor para mejorar la transferencia de estos por conducción y convección de fluidos; por ser cargas conductoras altamente térmicas y se pueden mezclar con el material de la tubería para mejorar su conductividad térmica. Las propiedades térmicas del hormigón también se pueden mejorar mediante la adición de materiales altamente termo-conductores a la mezcla de hormigón.” (Faizal, Bouazza, &amp; Singh, 2016)</p>
Unión Europea	<p><i>“How to boost shallow geothermal energy exploitation in the adriatic area: the LEGEND project experience”</i> “Cómo aumentar la explotación de la energía geotérmica superficial en el área del Adriático: la experiencia del proyecto LEYENDA” (traducción nuestra),</p>	<p>Propone un sistema de explotación geotérmica que permita generar calefacción en el invierno y refrigeración en el verano para los hogares y comercios de la Unión Europea.</p>
Unión Europea	Geo.Power1:	<p>Dirigido a la transferencia de conocimientos a partir de mercados geotérmicos (principalmente centro y norte de Europa) a nuevos mercados (principalmente del este y el sur de Europa), el desarrollo de estrategias compartidas y planes de acción para la energía geotérmica sostenible la difusión de energía. Tinti, et al; 2016</p>
Unión Europea	Geotrained2:	<p>El primer curso de formación cualificada para diseñadores e instaladores geotérmicos de poca</p>

País	Nombre del Proyecto	Estado o Alcance
		profundidad, el proyecto destinado. Tinti, et al; 2016
Unión Europea	Planta-med3:	Dirigido para demostrar la eficacia de costes y viabilidad de los sistemas de bomba de calor para calefacción y enfriamiento en un clima mediterráneo con una serie de demostración instalaciones de bombas de calor. Tinti, et al; 2016
Unión Europea	Regeocities	Un estudio de las posibilidades y los obstáculos a la introducción de la energía geotérmica superficial en las ciudades europeas. Centrado en la instalación de la bomba de calor geotérmica en las ciudades inteligentes, mediante el aumento de la conciencia entre la política y los tomadores de decisiones y proponer un conjunto de simplificación administrativa al igual que varios procedimientos y modelos financieros innovadores.
Alaska	proyecto geotérmico inició a principios de 2009 en la isla de Akutan	Tiene en la actualidad tres pozos geotérmicos, no hay información sobre cantidades producidas de energía.
Canadá	Informe anual comisión federal del Instituto Geológico y Minero de Canadá,	Ha analizado “grandes concentraciones de almacenes geotérmicos cerca de la superficie en el norte y el oeste de Canadá, en regiones como la Columbia Británica, Alberta, Yucatán” y otros lugares del noroeste del país. Pero, concluyen que en todo el país hay recursos geotérmicos, aunque no en la cantidad del noreste. (Sanz, 2011)
Estados Unidos	<i>Framing deep geothermal energy in mass media: the case of Switzerland.</i>	“Existen plantas grandes, por ejemplo, en los EE.UU. en el Manantial de agua caliente (al Norte de San Francisco) lo cual hace que los Estados Unidos, sea el más alto generador de energía geotérmica a nivel mundial” DiPippo & Renner (2014), citado por (Stauffacher, et al; 2015).
Estados Unidos	<i>“Barriers and enabler stogeo termal distric the a ting system development in the United States”</i> “Barreras y facilidades para el desarrollo de sistemas de almacenamiento en los Estados Unidos” (traducción nuestra),	El mercado estadounidense tenía para el 2015 alrededor de 1.250 MW de energía geotérmica en desarrollo, de los cuales 500 MW se encuentran en la Fase 3 que indica que en aproximadamente entre un año y medio y 33 meses pueden estar emitiendo energía.
México,	Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report	Se destacan dos campos, “el de Cerro Prieto y el de Los Azufres en Michoacán se encuentran ya en la etapa de producción y por lo menos dos más: La Primavera (Jalisco) y Los Humeros (Puebla), se encuentran ya muy avanzados en la etapa de evaluación y se espera que dentro de pocos años comenzarán también a producir electricidad a partir de fluidos geotérmicos. Del total de campos ya evaluados se tiene una reserva probada de más de 100 000 kilowatts y la

País	Nombre del Proyecto	Estado o Alcance
		reserva probable es de más de 1 400 000 kilowatts. Debe admitirse que aun desarrollando la totalidad de los recursos con que (Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, 2015, p. 8)
Guatemala	INDE con el apoyo de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)	Identificó trece áreas con potencial geotérmico y de ellas cinco se declararon áreas de reserva nacional, (Zunil, Amatitlán, San Marcos, Moyuta y Tecuamburro) las cuales corresponden a los departamentos de Quetzaltenango, Guatemala, San Marcos, Jutiapa y Santa Rosa respectivamente y que fueron entregadas en concesión al INDE, para que aprovechara de manera racional el recurso geotérmico para la generación eléctrica. Ministerio de energía y minas, dirección general de energía departamento de energías renovables. (2015).
El Salvador	<i>Geothermal resources of El Salvador, Preliminary assessment. Geothermics, Vol.17, p.319-332</i>	En El Salvador, hay 12 áreas geotérmicas con temperaturas subterráneas que se estiman superiores a 150 °C (alta entalpía), así como 12 áreas geotérmicas con temperaturas subterráneas que se estiman entre 90 a 150 °C (baja entalpía). (Consejo Nacional de Energía, 2012)
Costa Rica	Desarrollo Geotérmico en Costa Rica. <i>Geothermal Energy Workshop Salta.</i>	En Costa Rica, se está explotando en el volcán de Miravalles, el cual ocupa el primer puesto en Centroamérica, por el tamaño del campo geotérmico, y es el noveno a nivel mundial por países, en este proyecto hay cinco unidades instaladas, y una capacidad total de 163,5 MWe. El proyecto Pailas, tiene una unidad instalada de 42,5 MWe y una en desarrollo que puede proveer 55MVe; hay dos proyectos más el Borinquen en etapa de factibilidad y el Pocosol en prefactibilidad. (Sánchez, 2014)
Panamá	Programas de Estudios Geocientíficos con Criterios Geotérmicos”	El estudio encontró cinco zonas con potencial geotérmico en las regiones de: Barú Colorado 24Kw, El Valle de Antón, 18kw; Chitra – Calobre, Isla de Coiba y Área de Tonosí. (Etesa, 2009)
Argentina	Geotermia en Argentina	Los campos termales de alta entalpía, que existen en Argentina son cuatro: <b>Copahue-Caviahue:</b> con tres pozos de exploración, <b>Domuyo:</b> con más de 600 km <sup>2</sup> , <b>Tuzgle:</b> se encuentra entre las provincias de Jujuy y Salta, el estado de este campo es la última etapa prefactibilidad, que se ha desarrollado en 900 km <sup>2</sup> de área. Y <b>Valle del Cura:</b> ubicado en la provincia de San Juan, inició estudios de prefactibilidad en su primera fase, a partir de un informe “de anomalías químicas e isotópicas, que permitió conjeturar la probable existencia, a profundidades accesibles por perforación, de fluidos de tipo agua-vapor con temperaturas superiores a los 200° C y en niveles de circulación y almacenamiento secundarios, temperaturas de 130° - 150° (Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f)
Chile	Proyecto geotérmico	ya realizó perforaciones para establecer la

País	Nombre del Proyecto	Estado o Alcance
	Curacautín	factibilidad de realizar el montaje de una planta generadora en La Araucanía. El primer pozo exploratorio tuvo una profundidad de 2.575 metros, se terminó de explorar en enero de 2012, para hacerlo se utilizó el método de perforación direccional y las pruebas de flujo y producción demostraron la existencia de fluidos de agua y vapor a más de 280°C, información esencial para el desarrollo de ingeniería de la futura central. (Pontificia Universidad Católica de Chile. (2013)
Chile	Proyecto Cerro Pabellón, ubicado en la comuna de Ollagüe, en la Región de Antofagasta	“La planta, de propiedad de Geotérmica del Norte, sociedad controlada por el 51% por Enel Green Power Chile Ltda., y una participación del 49% de ENAP, se compone de dos unidades de 24 MW con una capacidad instalada total bruta de 48 MW.” (Villalobos, 2016)
Brasil	<i>Status Report on Geothermal Energy Developments in Brazil.</i>	Hay potencial alto de los sistemas geotérmicos, especialmente los de alta entalpia, el cual se encuentra en las islas sobre el océano Atlántico de Fernando de Noronha y Trinidad. También se identificaron recursos de baja entalpia (<90°C) en la región central del Brasil, que comprende los estados de Goiás y Mato Grosso y al sur en el estado de Santa Catarina. Se encontró también un potencial geotérmico para la explotación a gran escala de agua a baja temperatura para utilización industrial y la calefacción de espacios en la parte central de la cuenca de Paraná (situada las regiones del sur y Sudeste de Brasil). Hamza, Gomes & Ferreira (2005),
Brasil	<i>Status Report on Geothermal Energy Developments in Brazil.</i>	un potencial alto de los sistemas geotérmicos, especialmente los de alta entalpia, el cual se encuentra en las islas sobre el océano Atlántico de Fernando de Noronha y Trinidad. También se identificaron recursos de baja entalpia (<90°C) en la región central del Brasil, que comprende los estados de Goiás y Mato Grosso y al sur en el estado de Santa Catarina. Se encontró también un potencial geotérmico para la explotación a gran escala de agua a baja temperatura para utilización industrial y la calefacción de espacios en la parte central de la cuenca de Paraná (situada las regiones del sur y Sudeste de Brasil).(Cardoso, R., Hamza V. & Alfaro, C. 2010).
Argentina, Paraguay, Uruguay y Brasil,	El Sistema Acuífero Guaraní	El Sistema Acuífero Guaraní, es el más importante de América del Sur, se encuentra en la parte central y oriental del continente sudamericano, repartidas en una superficie de unos 1.196.500 kilómetros <sup>2</sup> , parte del territorio cuatro países, Argentina, Paraguay, Uruguay y Brasil, donde se extiende en un área aproximada de 840.800 km <sup>2</sup> , en donde hay ocho estados brasileros: Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Sao Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina y Mato Grosso (Foster, et al, 2006, p.1),

País	Nombre del Proyecto	Estado o Alcance
Uruguay	Energía geotérmica: potenciales aplicaciones para la diversificación de la matriz energética de Uruguay	Hay límites en el potencial geotérmico del país, debido a que el gradiente geotérmico está estimado en un $\sim 28.6$ °C /km que se encuentra relacionado con el aislamiento térmico que se produce por los basaltos Cretácicos en la Cuenca Paraná. (Cernuschi, F. 2014)
Perú	“Evaluación del Potencial Geotérmico del Perú”,	Generar una base técnico-científica, que permitiera determinar el verdadero potencial geotérmico del Perú, que sirviera para la promoción de la exploración y explotación de los recursos geotérmicos a diversa escala. Este trabajo, identificó seis zonas con potencial geotérmico: Cajamarca – La Libertad, Huaraz, Churín, Central, Eje volcánico Sur, Cuzco – Puno.
Perú	Estudio medioambiental en la cuenca del río Colca.	“Dichas zonas se localizan por encima de los 4000 msnm, con manifestaciones geotermales como: fuentes termales, fumarolas y geysers, cuyas temperaturas llegan a superar en algunos casos los 90 °C en superficie, y en profundidad por encima de los 200 °C. Calculados mediante los geotermómetros químicos. (Cruz, Vargas, & Cacya, 2013, p.6).
Bolivia	Geotermia en los países de la Región Andina	Realizó el mapa geotérmico de Bolivia (Véase figura 14) Salazar, G. (2013).
Bolivia	Generación de energía eléctrica a partir de vapor del pozo geotérmico <i>Apache AP-XI</i>	En este país, se han identificado zonas de gran potencial en la Cordillera Occidental, donde hay muchos volcanes y es el límite entre Bolivia y Chile: “la zona de Laguna Colorada, que alberga los pozos Apacheta y Sol de Mañana, y la zona del Volcán Sajama” (Velasco & Peñaranda., 2011, p. 51).
Ecuador	Ecuador quiere generar energía geotérmica	Presenta el mapa con 50 puntos potenciales de explotación geotérmica. Santamarta (2013)
Ecuador	Estudio para la Evaluación del Entorno del Proyecto Geotérmico Binacional “Tufiño-Chiles Cerro Negro”.	INCEL, comenzó las actividades de exploración de los recursos geotérmicos con miras a diversificar la oferta de recursos naturales aptos para la generación eléctrica y reducir el uso de combustibles derivados del petróleo. Estas actividades concitaron un apreciable interés y el consiguiente nivel de respaldo, lo que favoreció el desarrollo de los siguientes estudios y acciones conexas. (Coviello, F. 2000, p. 15).

## 6.1 La Geotermia a nivel mundial.

Para construir la línea de base, se recurrió a varias bases de datos, para descargar artículos científicos sobre los avances de la geotermia. Primero se hizo una mirada internacional, encontrando varios estudios en China, Serbia, Australia, Italia, Alemania,

Reino Unido y un estudio desarrollado para explorar el mar Adriático que reúne a Italia, Croacia, Eslovenia, Bosnia y Herzegovina, Montenegro y Albania.

## **6.2 Estado de la Geotermia en Europa y Asia**

El primer estudio incluido en la revisión bibliográfica, fue el realizado en Serbia, y que tuvo su origen en la meta de este país de “*alcanzar la proporción de 27% de energías renovables en el consumo final de energía para el año 2020*” (Nakomcic, Dvornic, Cepic, & Dragutinovic. 2016), se realizó en el año 2014, y fue subido a la web en 2016, con el título: “*Analysis and posible geothermal energy utilization in a municipality of Panonian Basin of Serbia*” Análisis y posible utilización de energía geotérmica en un municipio de la Cuenca Panoniana de Serbia, (traducción nuestra)

El estudio se llevó a cabo en el municipio Indjija, ubicado al norte del país, donde se encuentran pozos de aguas termales que deben ser evaluados si se quiere alcanzar la meta propuesta por el gobierno, e inició con la exploración de tres pozos pero el marcado como “(Indj-3 / H) no obtuvo los resultados esperados y fue evaluado negativo.” Se perforaron los otros dos pozos, el demarcado como Indj-2 / H que obtuvo evaluación para el uso potencial del fluido geotérmico, con un potencial de 1,25 a 106m<sup>3</sup> de agua que se pueden obtener anualmente y el Indj-1 / H, que puede generar un total de 10,85 GWh al año.

El estudio además “buscó identificar las características geomorfológicas, geológicas, geofísicas, hidrogeológicas e hidrotermales de la zona.” (Nakomcic, et al 2016). Y analizó las características físico-químicas de las aguas termales. De acuerdo con los resultados, obtenidos, recomendaron aplicar el fluido geotérmico para uso directo. “El Estudio de viabilidad se llevó a cabo por un sistema multifuncional combinado (...) y llegó a la conclusión de que el termalismo, los balnearios, deportes y actividades de



turismo, así como el suministro de agua caliente y la calefacción son las formas más apropiadas para el uso directo del calor geotermal encontrado en esta región.

El otro estudio de 2014 encontrado fue realizado en Suiza, por Stauffacher, Muggli, Scolobig, & Moser, y publicado en 2015, “*Framing deep geothermal energy in mass media: the case of Switzerland*”, buscó analizar cómo la energía geotérmica profunda se ha discutido en los medios de comunicación en Suiza, con un énfasis en los actores, así como en los argumentos y marcos que utilizan.” (Stauffacher, et al; 2015). El interés de este estudio es la contradicción encontrada entre los actores frente al desarrollo de la energía geotérmica.

Stauffacher, et al; (2015), revisaron las comunicaciones de prensa de dos importantes periódicos suecos (Tages-Anzeiger y NeueZürcherZeitung), entre 1997 y 2013, buscando cuatro aspectos: “- transición energética, los riesgos, la tecnología y los costos” (Stauffacher, et al; 2015). Estas miradas se dieron desde el punto de vista de los científicos y de la opinión pública.

En los antecedentes este estudio encontró un trabajo de Leucht, (2010, 2012), que revisó “el discurso público sobre la energía geotérmica en los periódicos alemanes entre 1999 y 2009” (traducción nuestra), para ello analizó 570 artículos encontrando un discurso mixto, fue muy positivo antes de 2005 y luego se volvió escéptico, sobre todo en 2008 y 2009, posiblemente debido al derrame de agua ocasionado por las actividades de perforación en Wiesbaden, cf. (Citado por Stauffacher, et al; 2015).

El estudio de Leucht (2010, 2012), encontró que “los tres primeros temas de mayor importancia fueron en los diarios alemanes fueron: 1) las inversiones necesarias en nuevas instalaciones geotérmicas, 2) Los aspectos tecnológicos de la explotación de energía geotérmica profunda, y 3) la cuestión más amplia de las energías renovables. Entre los 10 primeros temas, Se discutieron aspectos: sismicidad inducida (en el puesto

6), problemas de perforación (Nº 8), y los riesgos generales (tecnología, medio ambiente y los aspectos sociales y financieros, clasificados 10) (Citado por Stauffacher, et al; 2015).

Según estos estudios ya existe una producción comercial de energía geotérmica pero procesados desde “sistemas hidrotermales, por un total de 67 TWh / año de electricidad y 122 TWh / año de producción de energía térmica (DiPippo y Renner, 2014). (Citado por Stauffacher, et al; 2015).

Las plantas de producción de energía geotérmica se encuentran principalmente en los límites de las placas tectónicas, porque es el lugar donde el magma se mueve más cerca de la capa de la tierra “como en los recursos geotérmicos alrededor del "Anillo de Fuego del Pacífico" (ver Fig. 7 en Hirschberg et al., 2015, p. 13).” (Citado por Stauffacher, et al; 2015).

El sistema mejorado o modificado (BSA) por sus siglas en inglés, consiste en cavar “profundamente en la corteza terrestre (varios miles de metros bajo la superficie). A tales profundidades, las temperaturas son altas, pero el agua puede no estar disponible en cantidades suficientemente grandes, o la permeabilidad de la roca podría no ser suficiente para permitir la producción de energía a gran escala. Mientras que la tecnología tradicional se centra en las fuentes existentes de agua caliente cerca de la superficie y por lo tanto se limita a unos pocas, áreas específicas alrededor del mundo. (Stauffacher, et al; 2015).

El estudio de Jialing, Z., Kaiyong, H., Xinli, L., Xiaoxue, H., Ketao, L. & Xiujie W. (2015). “A review of geothermal energy resources, development, and applications in China: Current status and prospects”, hizo una “revisión de los recursos de energía geotérmica, el desarrollo y aplicaciones en China: situación actual y perspectivas”. (traducción nuestra). Esta información indica que China es el primer país del mundo en

el uso de la energía geotérmica, seguido muy de cerca por los Estados Unidos y en tercer lugar Suecia, entre los 10 primeros no se encontró ningún país latinoamericano. Estos datos también indican que la explotación de la geotermia es muy pequeña en todo el mundo y por lo tanto si se quiere cambiar la producción de energía a energías más limpias hay en esta forma una oportunidad para explotarla y ayudar así a disminuir el impacto que sobre la capa de ozono tiene la energía fósil.

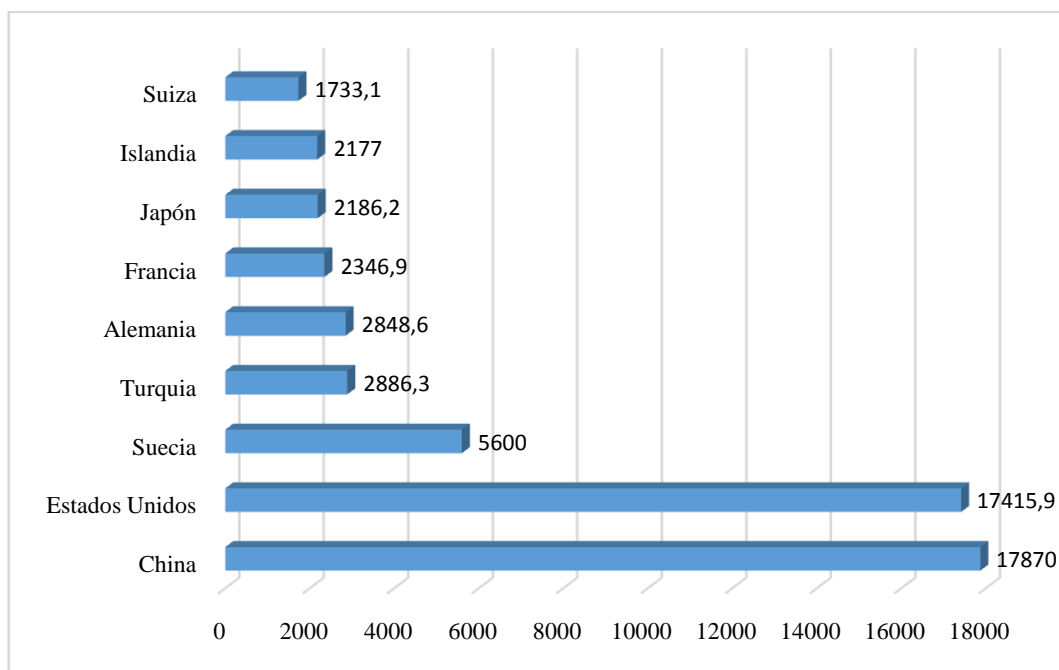


Figura 6. Top 10 de los países del mundo que utilizan energía geotérmica directa

Fuente: Construido con datos del estudio de Jailing, et. Al

El estudio encontró que existen abundantes reservas de energía geotérmica con  $3.06 \times 10^{18} \text{kWh}$  / año, lo que representa el 7,9% de los recursos mundiales geotérmicos. Sin embargo, hay una alta dominancia de la temperatura media-baja, que no sirven para la generación de energía. La alta temperatura se encontró concentrada principalmente en el sur del Tíbet, en el oeste de Yunnan, oeste de Sichuan, y en Taiwán. (Jailing, et. Al; 2015). En el gráfico uno se puede ver el top 10 de la utilización de energía geotérmica.

En la China, el área de calentamiento geotérmica es de 300 millones de metros cuadrados, y se espera llegar a los 500 millones de metros cuadrados en 2020. La

capacidad instalada actual de generación de energía geotérmica en China es 27.78 MWe, y se espera que alcance 100 MWe en 2020. (Jailing, et. Al; 2015)

La China tiene recursos abundantes de energía geotérmica, pero su explotación está todavía en la infancia. Sin embargo, se encontraron logros en la explotación de recursos HDR, (sigla en inglés para proyectos en los cuales las rocas calientes están secas y deben ser inyectadas con agua para extraer el calor de las piedras y la energía). La evaluación en la cantidad y calidad de los recursos de HDR en regiones clave, y la construcción del depósito de fracturación artificial. (Jailing, et. Al; 2015)

Con el fin de lograr el desarrollo sostenible de la energía geotérmica en China, la investigación y el desarrollo deben ser centrado en los siguientes aspectos: el desarrollo técnico de proyectos de Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS), bajo costo y desarrolló a gran escala para la energía geotérmica y la generación de energía, el sistema integrado híbrido con energía geotérmica, y la sostenibilidad de la explotación y aprovechamiento de los yacimientos geotérmicos. (Jailing, et. Al; 2015)

El estudio de Jiang, Xiaolu, Xu, Zhang, denominado “*Heat extraction of novel underground well pattern systems for geothermal energy exploitation*” “Extracción de calor de nuevos sistemas de patrones de pozos subterráneos para la explotación de la energía geotérmica”, (traducción nuestra) realizado en el 2015 y aceptado en el 2016, hace una revisión del avance de la geotermia en el mundo y encontró que:

Hasta ahora, algunos proyectos EGS han demostrado que pueden operar en el mundo, por ejemplo, la proyectos pico Fenton colina y del desierto en los Estados Unidos, Rosemanowes proyecto en el Reino Unido, Soultz-sous-A ^ ets proyecto en Francia, Hijiori proyecto en Japón, proyecto de la cuenca Cooper en Australia, DeepHeat Mineras proyectos (DHM) en Suiza, y Schoenebeck bruto proyecto en Alemania [4,5]. China también aumenta énfasis en el desarrollo de la

energía geotérmica ya que el gobierno tiene anunciado el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en alrededor del año 2030 y el uso de combustibles no fósiles para el 15% de su estructura energética en 2020 [4].

(Citado por Jiang, et al; 2015)

Las conclusiones de este estudio fueron:

Los sistemas de patrones de pozos subterráneos buscan reemplazar el sistema de fracturación, con pozos horizontales, que fueron propuestos para la explotación de la energía geotérmica. La característica más importante del sistema propuesto es la circulación totalmente cerrada dentro de los pozos. En comparación con el sistema de depósito en el que el agua fluía por las fracturas en los medios porosos sin un cierto canal de flujo, la circulación cerrada de los sistemas de patrón impide el contacto directo, por lo que la reacción química, entre el fluido y la superficie de la roca generando pérdidas de tarifa. Por otra parte, en el sistema cerrado la circulación en el interior de los pozos tiene un sistema de patrón bien asegurada la dirección del flujo, superando el problema de flujo de masa pérdida de tarifa, que es probable que se produzca en el sistema yacimiento fracturado (Por ejemplo, pérdida de flujo de masa fue tan alta como 37,5% en el proyecto Rosemanowes y del 45% en el proyecto Hijiori). (Jiang, et al; 2015)

Un modelo numérico de los sistemas propuestos fue configurado para analizar cuantitativamente el potencial de estos sistemas. Entre todos los escenarios, tanto para múltiples horizontales y sistemas anulares de pozos, el escenario con el flujo de producción más pequeña velocidad de 40 kg / s y mayor temperatura de inyección de 70°C tenía la mayor temperatura de producción. La presión de inyección puede ser más baja que la presión de producción a una velocidad de flujo de producción más pequeña, proporcionando de este modo con la fuerza de auto-impulso por la circulación constante

y aumentar significativamente la eficiencia de generación. También mostró que el sistema con CO<sub>2</sub> como fluido de trabajo tenía menor temperatura de producción, y una mayor presión de la producción. (Jiang, et al; 2015)

En comparación con el sistema con un depósito de fractura que tenía una longitud de sistema de pozos horizontales 424,2 m, con ocho cada uno horizontal así de 4000 m de longitud tuvo una mayor producción de fondo de pozo temperatura. A la tasa de flujo de masa mayor de 20 kg / s, la inyección temperatura de 20 °C y la presión de inyección de 10 MPa, la temperatura del manantial de la producción de ocho sistemas de pozos horizontales con CO<sub>2</sub> como fluido de trabajo fue de 38,9 °C más alta que la de sistema de yacimiento fracturado con CO<sub>2</sub> después de 20 años, que muestra un significativo potencial de aplicación.

Zare (2016) en *“A comparative thermodynamic analysis of two tri-generation systems utilizing low-grade geothermal energy”* “Un análisis termodinámico comparativo de dos sistemas de trigeneración la utilización de la energía geotérmica de baja calidad”, (traducción nuestra) encontró diferencias en las unidades de generación de energía, como el ciclo de Rankine orgánico que se emplea en un sistema de ciclo de Kalina, Y el otro sistema que utiliza una máquina de absorción de bromuro de litio/agua y un calentador de agua acoplados a los ciclos Rankine.

El estudio concluyó que el sistema basado en el ciclo de Kalina es más eficiente ya que su máxima eficiencia segunda ley es 50,36%, mientras que el sistema basado en ciclo de Rankine orgánico tiene una segunda máxima eficiencia ley de 46,51%.

Los resultados también indican que, para una temperatura de la fuente de calor de 120 °C, el sistema basado en ciclo Kalina puede producir más energía que el otro sistema en torno al 12,2%, en las condiciones optimizadas

Faizal, Bouazza, & Singh, (2016), en “*Heat transfer enhancement of geothermal energy piles*” “Mejora la transferencia de calor de las pilas de energía geotérmica”, (traducción nuestra), propone una tecnología que permite incrementar la transferencia de energía, así:

(...) para mejorar las propiedades térmicas de los elementos en una pila de energía geotérmica, mediante la optimización geométrica, del número de tubos y la disposición que debe ser realizada para reducir la resistencia total de la pila térmica. Los fluidos nano se pueden utilizar como portadores de calor para mejorar la transferencia de estos por conducción y convección de fluidos; por ser cargas conductoras altamente térmicas y se pueden mezclar con el material de la tubería para mejorar su conductividad térmica. Las propiedades térmicas del hormigón también se pueden mejorar mediante la adición de materiales altamente termo-conductores a la mezcla de hormigón.” (Faizal, Bouazza, & Singh, 2016)

Tinti, et al (2016), en “*How to boost shallow geothermal energy exploitation in the adriatic area: the LEGEND project experience*” “Cómo aumentar la explotación de la energía geotérmica superficial en el área del Adriático: la experiencia del proyecto LEYENDA” (traducción nuestra), busca proponer un sistema de explotación geotérmica que permita generar calefacción en el invierno y refrigeración en el verano para los hogares y comercios de la Unión Europea, uno de los apartes del estudio dice:

Las bombas de calor geotérmicas pueden entregar la mayor parte de la energía necesaria para el espacio lo que es la calefacción, la refrigeración y agua caliente. Los principales beneficios de esta tecnología se refieren a la energía primaria o sea a los ahorros, en comparación con cualquier otra producción de calor y frío en los sistemas, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> local y global, debido al uso combinado de energía eléctrica y renovable, en la forma de calor

subterráneo, sin comprometer el calor a largo plazo con saldos de los acuíferos. Sus principales limitaciones han sido siempre la inversión inicial por las excavaciones y perforaciones, limitación de espacio en zonas altamente pobladas y ciertas cuestiones técnicas, tales como las temperaturas del fluido de trabajo de los sistemas de distribución de calor en el edificio con los avances tecnológicos, el aumento de los costos de energía, la incertidumbre, el suministro vector energético a causa de problemas geopolíticos y la voluntad política para reducir las emisiones de contaminantes relacionados con el combustible fósil los cuales han hecho que la explotación de la energía geotérmica superficial de una oportunidad realmente sostenible dentro de las alternativas energéticas de Europa. (Tinti, et al; 2016).

El mundo reconoce la importancia de buscar propuestas energéticas renovables y limpias, pero en general falta voluntad política de los gobiernos para invertir en estas propuestas, aún más porque priman los intereses de los particulares que obtienen riquezas de la explotación de los recursos fósiles (petróleo, gas y carbón), los cuales son fuente de alta contaminación.

El estudio encontró otras propuestas de generación de energía geotérmica en la región europea que se relacionan a continuación:

1. Geo.Power1: Dirigido a la transferencia de conocimientos a partir de mercados geotérmicos (principalmente centro y norte de Europa) a nuevos mercados (principalmente del este y el sur de Europa), el desarrollo de estrategias compartidas y planes de acción para la energía geotérmica sostenible la difusión de energía.



2. Geotrainet2: El primer curso de formación cualificada para diseñadores e instaladores geotérmicos de poca profundidad, el proyecto destinado a poner la base para la creación de un sistema de certificación común.
3. Planta-med3: Dirigido para demostrar la eficacia de costes y viabilidad de los sistemas de bomba de calor para calefacción y enfriamiento en un clima mediterráneo con una serie de demostración instalaciones de bombas de calor.
4. Regeocities: Un estudio de las posibilidades y los obstáculos a la introducción de la energía geotérmica superficial en las ciudades europeas. Centrado en la instalación de la bomba de calor geotérmica en las ciudades inteligentes, mediante el aumento de la conciencia entre la política y los tomadores de decisiones y proponer un conjunto de simplificación administrativa al igual que varios procedimientos y modelos financieros innovadores. (Tinti, et al; 2016).

Las principales conclusiones encontradas por el estudio fueron

(...) la tecnología de la energía geotérmica de baja entalpía tiene el potencial para ser aplicado en todas partes en la zona del Adriático, satisfaciendo diversas necesidades de energía, adaptándose a diferentes ámbitos geológicos y contextos hidrogeológicos y la integración con diferentes tipos de tecnologías tradicionales y nuevas de calefacción y refrigeración. Esta voluntad sólo será posible, si las condiciones de frontera, y las implicaciones de política, se aplicarán progresivamente, con una interacción más estrecha entre los fabricantes e instaladores, arquitectos y diseñadores de edificios, Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC) ingenieros, gestores de energía y usuarios finales. El logro de esta actualización de todo el Adriático de la legislación, experta y los conductores del mercado requiere armonizar las políticas regionales para pavimentar el camino para la amplia adopción de la energía geotérmica a través

del sector de la construcción. Así como las directivas de la UE sobre la eficiencia energética, el período de Programación de la UE 2014-2020 ofrece la coordinación conjunta y oportunidades de inversión financiera para las energías renovables, sólo si el respaldo arriba, por un plan de acción UE-sintonizado con una visión clara de resultados a obtener. (Tinti, et al; 2016).

### **6.3 La geotermia en Norte América**

Para establecer el nivel de desarrollo en América, se empieza el análisis de Norte a Sur, es por ello que el primer país a relacionar es Alaska, que a pesar de pertenecer a Estados Unidos, se revisará por aparte.

En Alaska el proyecto geotérmico inició a principios de 2009 en la isla de Akutan, en este año se inició con un pozo, y en el 2010, se dio apertura al segundo pero no se conocen los resultados de estas exploraciones, en el 2014 se dio apertura al tercer pozo puede que pronto tenga un tercer pozo de pruebas, no se tienen datos actualizados del estado de estos proyectos.

Por su parte en Canadá: la comisión federal del Instituto Geológico y Minero de Canadá, al presentar su informe anual, afirma que el país tiene recursos geotérmicos tan grandes que puede suministrar “toda la electricidad que necesita el país” y aún le sobraría. Esta energía podría ser utilizada para la calefacción que es de gran demanda en el invierno de este país, y en los estados cercanos a Alaska.

El instituto Geológico ha analizado “grandes concentraciones de almacenes geotérmicos cerca de la superficie en el norte y el oeste de Canadá, en regiones como la Columbia Británica, Alberta, Yucatán” y otros lugares del noroeste del país. Pero, concluyen que en todo el país hay recursos geotérmicos, aunque no en la cantidad del noreste.

En Canadá: una de las características del recurso geotérmico, es que es muy superficial, lo que permite el aprovechamiento de ese tipo de energía a un bajo costo. Según el equipo de científicos del instituto Geológico, con tan sólo la explotación de “cien proyectos de energía geotérmica” (Sanz, 2011, párr. 1), se abastecería de electricidad a todo el país, logrando disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y luchar contra el cambio climático.

En Estados Unidos, el estudio de DiPippo&Renner (2014), citado por (Stauffacher, et al; 2015). Encontró que “Existen plantas grandes, por ejemplo, en los EE.UU. en el Manantial de agua caliente (al Norte de San Francisco) lo cual hace que los Estados Unidos, sea el más alto generador de energía geotérmica a nivel mundial” Indonesia es el segundo en el mundial generación, las Filipinas es tercero y concentraciones mayores se pueden encontrar en Islandia y en Europa desde Turquía a Italia.

El estudio de HildigunnurH.Thorsteinsson, J.Tester. W. (2009), llamado “*Barriers and enabler stogeo termal distric the a ting system development in the United States*”“Barreras y facilidades para el desarrollo de sistemas de almacenamiento en los Estados Unidos” (traducción nuestra), afirman que “*Aunque los Estados Unidos son ricos en recursos de energía geotérmica, han sido frecuentemente valorados en la cartera de opciones de América a un mismo nivel*”, Hildigunnur, et al (2009), es decir, que no le dan la importancia que esta fuente de energía merece, por ser una energía limpia y sustentable, encontró que, para combatir la creciente preocupación por el cambio climático, se ha recurrido a aumentar los precios de los combustibles fósiles, buscando desestimular su uso, para proteger el medio ambiente; y buscar la sostenibilidad general. Las naciones en todo el mundo están examinando su infraestructura energética, para que se conserve la energía que sea más eficiente y que permita transformar el sistema

energético, utilizando uno de los más importantes recursos naturales la que se produce del fondo de la tierra.

La geotermia se ha considerado como fuente de energía renovable, libre de emisiones, que por su escaso nivel de desarrollo, tiene altos costos de apertura de los pozos, pero una vez que esto se ha logrado, la energía como tal es gratuita y continua, lo que hace que la inversión inicial se recupere prontamente.

En total, el mercado estadounidense tenía para el 2015 alrededor de 1.250 MW de energía geotérmica en desarrollo, de los cuales 500 MW se encuentran en la Fase 3 que indica que en aproximadamente entre un año y medio y 33 meses pueden estar emitiendo energía.

En Estados Unidos, la expansión del sector geotérmico tiene como obstáculo la baja demanda de este tipo de energía, “la incertidumbre legislativa sobre el Crédito Tributario por Producción (PTC) y el Crédito Tributario de Inversión (ITC) y los mecanismos desequilibrados para valorar los costos de energía de base y de integración en California. (Annual U.S. & Global GeothermalPowerProductionReport, 2015, p. 8)

#### **6.4 Geotermia en Centro América**

México, es uno de los países más avanzados en cuanto a la producción de energía geotérmica. Se destacan dos campos, “el de Cerro Prieto y el de Los Azufres en Michoacán se encuentran ya en la etapa de producción y por lo menos dos más: La Primavera (Jalisco) y Los Humeros (Puebla), se encuentran ya muy avanzados en la etapa de evaluación y se espera que dentro de pocos años comenzarán también a producir electricidad a partir de fluidos geotérmicos. (Annual U.S. & Global GeothermalPowerProductionReport, 2015, p. 8)

En México ya han realizado estudios en 27 campos de los cuales 16 están en la fase de pozos de exploración, en ellos se destacan: El Ceboruco (Nayarit), Las Planillas (Jalisco), Araró (Michoacán), Las Tres Vírgenes (Baja California Sur).

Cerro Prieto es uno de los proyectos geotérmicos más grandes del mundo, su capacidad instalada es de 620 000 kilowatts de energía eléctrica; pero tiene capacidad para más de 700.000 kilowatts, hay reservas probadas de 220 000 kilowatts y probables de más de 220 000 kilowatts). La ubicación de este pozo cerca de la frontera de los Estados Unidos, le ha permitido exportarla, por existir un sobrante debido a la vocación eminentemente agrícola de bajo consumo eléctrica.

En el campo geotérmico de “Los Azufres”, se ha probado por medio de plantas piloto obteniendo un total de 25.000 kilowatts, que corresponde casi al consumo de energía eléctrica de la ciudad de Morelia, Michoacán. Después de observar los resultados obtenidos con estas plantas, se determinó que este campo tiene capacidad para producir más energía, por lo cual se está ya construyendo una planta que generará más de 50 000 kilowatts de electricidad (el campo tiene una reserva probada de 135 000 kilowatts y una reserva probable de 165 000 kilowatts). Una particularidad de la explotación del campo geotérmico de Los Azufres es que la totalidad del agua separada del vapor que va a las turbinas será reinyectada en el yacimiento a través de once pozos, con lo cual se evitará la contaminación del medio ambiente.

Del total de campos ya evaluados se tiene una reserva probada de más de 100 000 kilowatts y la reserva probable es de más de 1 400 000 kilowatts. Debe admitirse que aun desarrollando la totalidad de los recursos con que cuenta el país, la energía geotérmica no podría cubrir la demanda total de energía eléctrica. Sin embargo, por la abundancia de campos geotérmicos en México, esta fuente de energía sí puede representar una contribución significativa para satisfacer las necesidades energéticas del

país, por supuesto, sin pasar por alto su utilización directa en procesos industriales, la cual aún debe implementarse y podría significar un considerable ahorro de combustibles fósiles y una disminución en los niveles de contaminación.

Guatemala ha ido identificando su potencial geotérmico, y para ello el Departamento de Energías Renovables –DER- de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, creó el catálogo de recursos geotérmicos recopilando la información de los campos que han sido estudiados desde 1972, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) conocida para esa época con el nombre de: Agencia de Cooperación Tecnológica con el Extranjero (OTCA por sus siglas en inglés), y el Instituto Nacional de Electrificación (INDE).

En 1972 el INDE con el apoyo de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) estableció trece áreas identificadas con potencial geotérmico y de ellas cinco se declararon áreas de reserva nacional, (Zunil, Amatitlán, San Marcos, Moyuta y Tecuamburro) las cuales corresponden a los departamentos de Quetzaltenango, Guatemala, San Marcos, Jutiapa y Santa Rosa respectivamente y que fueron entregadas en concesión al INDE, para que aprovechara de manera racional el recurso geotérmico para la generación eléctrica. El estudio se inició en “Moyuta, por presentar fuertes manifestaciones superficiales, en 1975 se perforaron dos pozos exploratorios los cuales presentaron muy bajas temperaturas por lo que las exploraciones se centraron en las áreas de Zunil y más tarde Amatitlán, luego de los estudios de reconocimiento en estas áreas se perforaron pozos de exploración de pequeño diámetro, debido a estos resultados Zunil y Amatitlán recibieron la mayor prioridad. (Ministerio de energía y minas dirección general de energía departamento de energías renovables, 2015, p.12)

Con la promulgación de la Ley General de Electricidad en 1996, se abren las puertas para que el sector privadas puedan explorar y aprovechar el recurso geotérmico en la

generación de energía eléctrica, y se transforma el INDE en la Dirección general de energía departamento, creando a su vez el área de energías renovable. La primera planta de energía geotérmica en Guatemala se instaló en Amatitlán en octubre de 1998, con capacidad de generar 5 MW. Actualmente existen dos plantas geotérmicas de producción continua de energía eléctrica a cargo de las empresas Orzunil I de Electricidad Limitada en el área de Zunil y Ortitlán limitada en el área de Amatitlán ambas con una capacidad de generación de 25.2 MW. (Ministerio de energía y minas dirección general de energía departamento de energías renovables, 2015, p.13)

El Salvador, en este país, se genera energía geotérmica desde 1975, aumentando en forma constante hasta el 2012 que genera 204,4 MW, la generación de energía geotérmica está a cargo de la empresa LaGeo, los proyectos actuales son Ahuachapán, con dos pozos y una capacidad instalada de 95MW y Berlín con dos pozos en explotación con una capacidad instalada de 109,44%.

Tabla 5. Inventario de recursos geotérmico de moderada-baja entalpía

Área	Ubicación	Temperatura	Volumen	Promedio	Potencial
	Geográfica	promedio	Reservorio(km <sup>2</sup> )		Geotérmico (MWe 25 años)
		Reservorio			
Toles	Ahuachapán	126±6	3±1		13
Güija	Santa Ana	119±9	2±1		8
Los Apoyos	Santa Ana	133±7	2±1		9
Agua	Chalatenango				
Caliente		123±7	2±1		9
El Paraíso	Chalatenango	133±7	2±1		9
Nombre de	Chalatenango				
Jesús		151±8	3±1		16
Tihuapa	La Libertad	128±11	2±1		9
El Saltral	La Paz	123±10	2±1		8
Obrajuelo	San Vicente	133±14	2±1		9
Carolina	San Miguel	141±11	3±1		15
Santa Rosa	La Unión	126±12	8±1		34
El Sauce	La Unión	118±12	2±1		8

Fuente: Campos, T. (1988). Geothermal resources of El Salvador, Preliminary assessment. Geothermics, Vol.17, p.319-332.

En El Salvador, hay 12 áreas geotérmicas con temperaturas subterráneas que se estiman superiores a 150 °C (alta entalpía), así como 12 áreas geotérmicas con temperaturas subterráneas que se estiman entre 90 a 150 °C (baja entalpía). (Consejo Nacional de Energía, 2012)

En Costa Rica, se está explotando en el volcán de Miravalles, el cual ocupa el primer puesto en Centroamérica, por el tamaño del campo geotérmico, y es el noveno a nivel mundial por países, en este proyecto hay cinco unidades instaladas, y una capacidad



total de 163,5 MWe. El proyecto Pailas, tiene una unidad instalada de 42,5 MWe y una en desarrollo que puede proveer 55MVe; hay dos proyectos más el Borinquen en etapa de factibilidad y el Pocosol en prefactibilidad.

En el siguiente mapa se pueden ver los proyectos que existen en general en América Central que incluye 50 puntos con potencial geotérmico identificados en América Central, se relacionan de Honduras: Platanera, Azacualpa, El Olivar, San Ignacio, SamboCreak, Pavana e Isla del Tigre. En Panamá, están los proyectos Colorado – Barú, Isla de Coiba, ChitradeCalobe, Valle de Antón. En este estudio se dice que para 2010, el potencial total verificado de toda la zona es de 1,751.9 a 1,761.9 MV.

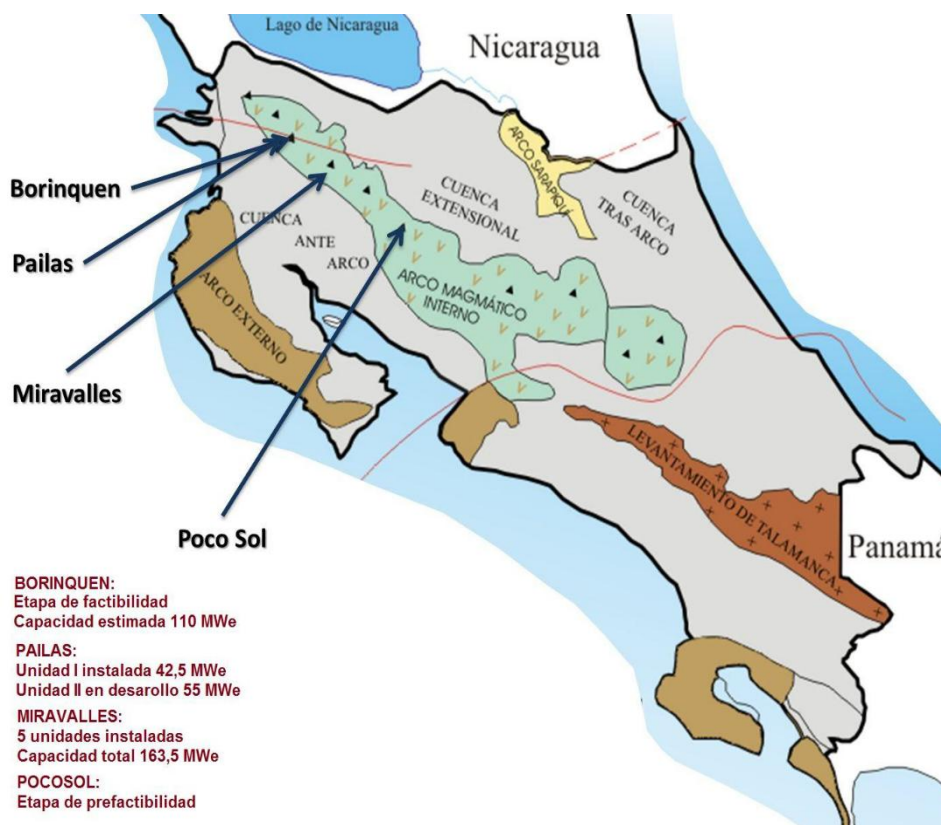


Figura 7. Estado de las áreas geotérmicas en Costa Rica 2014

Fuente: Sánchez (2014)

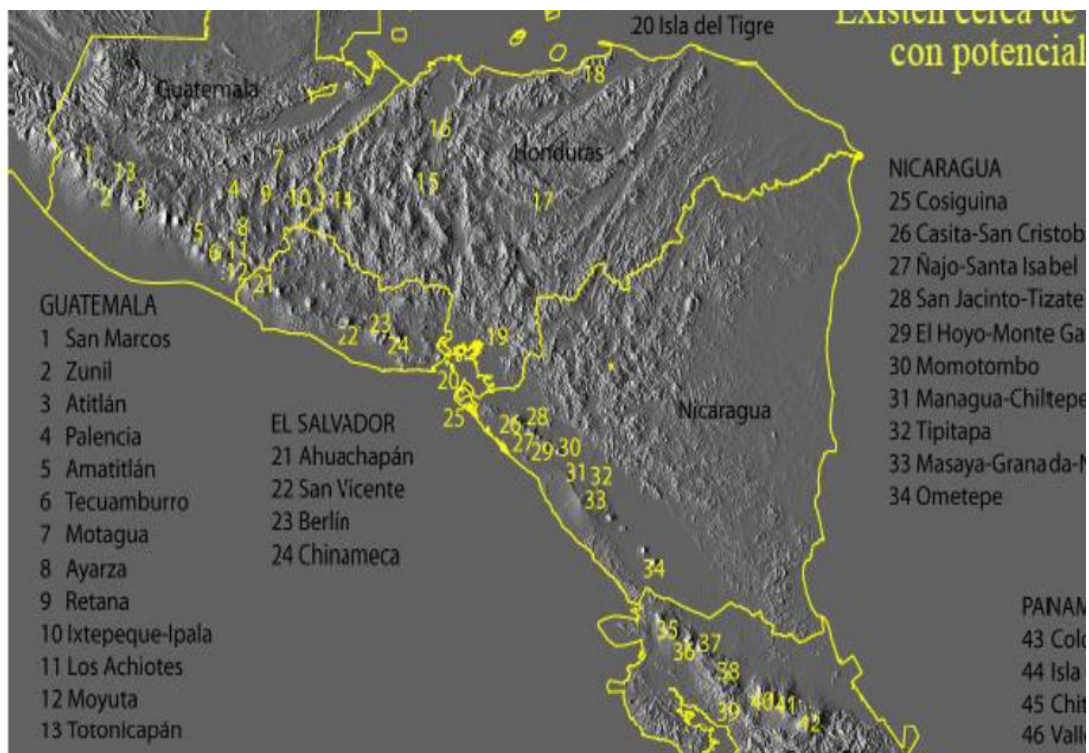


Figura 8. América Central sitios con potencial geotérmico

Fuente: [https://www.esmap.org/.../713201042727\\_Geotermia\\_en\\_Centroamérica\\_19\\_May\\_2](https://www.esmap.org/.../713201042727_Geotermia_en_Centroamérica_19_May_2).

Los estudios en energía Geotermal en Panamá, inician en 1971, por interés gubernamental, pero debido a la falta de un diseño metodológico estas investigaciones no llegaron a determinar la existencia o no de un campo geotérmico. Para el año 1981, el Instituto de Recursos Hidráulico y Electrificación (IRHE) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), inician una evaluación crítica de los datos existentes, y con ellos elaboran "los programas de Estudios Geocientíficos con Criterios Geotérmicos" (Etesa, 2009). Para el desarrollo de estos programas, el Gobierno panameño, contrató con el Banco de Desarrollo Interamericano (BID) en marzo de 1983, los cuales finalizaron en 1988, es decir, 5 años más tarde.

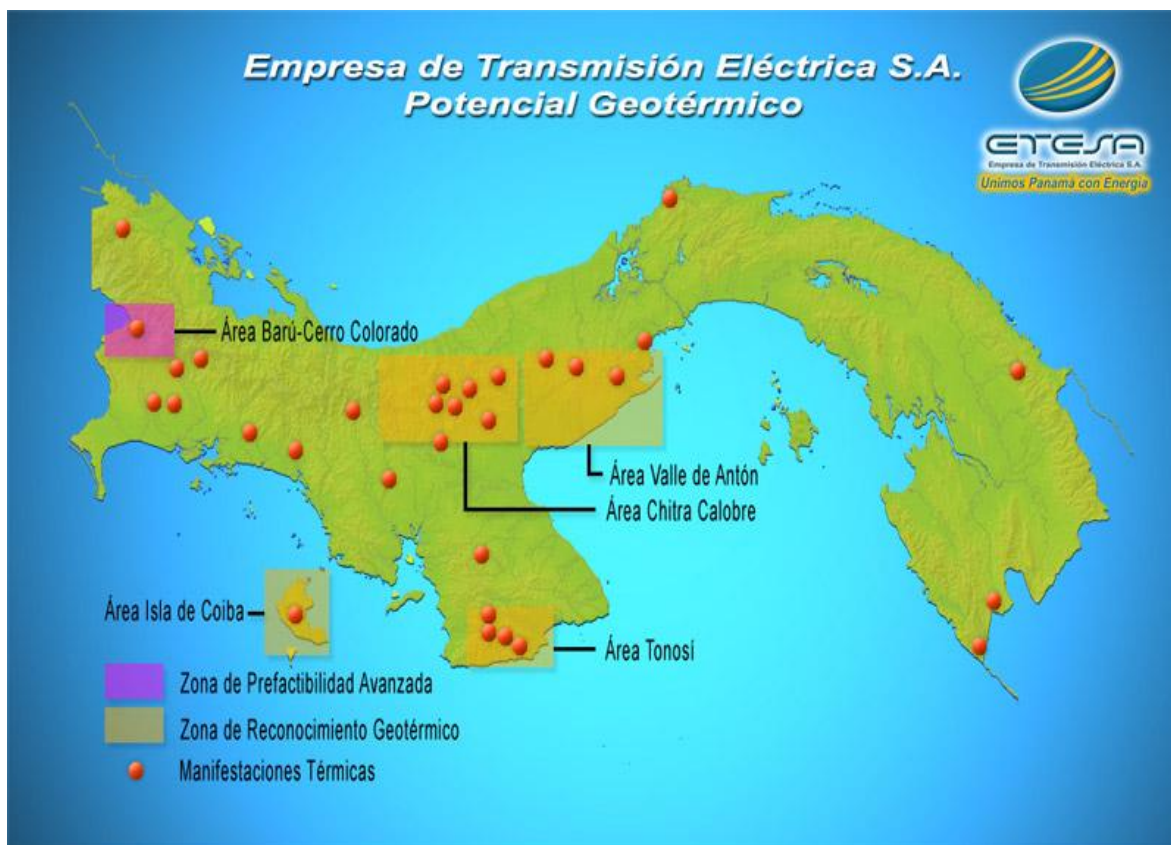


Figura 9. Mapa del potencial geotérmico en Panamá

Fuente: Etesa (2009)

A partir de ese momento, se han realizado esfuerzos que buscan desarrollar la geotermia, con el objetivo de disminuirla dependencia de la generación eléctrica con petróleo, carbón, gas natural o licuado del petróleo, que además de ser altamente contaminantes, tienen precios en constante alza por las fluctuaciones del mercado internacional.

En el año 2000, la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA), con el apoyo de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y la cooperación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) inicia, nuevamente los estudios de caracterización de este recurso energético con la aplicación de nuevas tecnologías (Hidrología Isotópica) y siendo esto el último esfuerzo de evaluación geotérmica en el país.(Etesa 2009)

Tabla 6. Potencial geotérmico en Panamá

Área	Potencial estimado	Observaciones
Barú Colorado	24 MW	Estudios Geocientíficos en superficie
El Valle de Antón	18 MW	Estudios Geocientíficos en superficie
Chitra - Calobre	-	
Isla de Coiba	-	
Área de Tonosí	-	
Total	42 MW	

Fuente: West JEC para el Plan Puebla – Panamá. Etesa (2009)

### 6.5 Geotermia en América del Sur

Para este aparte se empezará el estudio de Sur a Norte, es decir, se empezará por Argentina y se terminará en Ecuador, sin incluir a Colombia, porque el país tiene un objetivo para desarrollarlo.

En Argentina, se inició en 1988 el primer proyecto geotérmico de América Latina, en Copahue, provincia de Neuquén, con una central geo termoeléctrica. Es una “central de ciclo binario de 0,6 MW de potencia, que genera energía eléctrica a partir del vapor producido por el pozo geotérmico Copahue-1” (Geotermia en Argentina. (s.f).

Por ser un proyecto piloto, su carácter fue demostrativo, pero produce además la energía suficiente para satisfacer las necesidades de energía eléctrica y permite evaluar el comportamiento de la producción del campo.

Argentina por estar ubicado en los Andes, posee importantes recursos geotérmicos, en el sector occidental de la Cordillera de Los Andes, en donde hay “condiciones hidrogeológicas favorables para la formación de campos geotérmicos de alta entalpía,” (Geotermia en Argentina. s.f). y cuenta además con recursos de media y baja entalpía, en el sector andino y en otras zonas del país.

Los campos termales de alta entalpia, que existen en Argentina son cuatro, y dada su importancia se hará un breve resumen de ellos:



Figura 10. Campo Copahue-Caviahue

Fuente: .Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f

**Copahue-Caviahue:** El campo termal se encuentra ubicado en la Provincia de Neuquén, en la margen Este de la Cordillera de los Andes, y sobre el límite internacional con Chile. Está catalogado como el proyecto de mayor avance en el país, y ya está en la fase de desarrollo. El campo está localizado al "extremo occidental de una megacaldera de 15 por 20 km de diámetro, en cuyo límite oeste se ubica el Volcán Copahue de 2.977 mts., de edad Cuartaria."(Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f)

Este campo tiene tres pozos de exploración identificados como: COP-1, que tiene una profundidad de 1.414 mts., el COP-2: con una profundidad de 1.241 mts. Y el COP-3: con una profundidad de 1.065 mts.); en ellos se almacena "una mezcla de agua-vapor dominante a 230° C y con una productividad mediana."(Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f). De acuerdo a los estudios realizados para este campo, hay un reservorio geotermal aún sin explotar el cual se encuentra a 1.800 metros de profundidad, lo que le asegura una alta vida útil a este campo, actualmente genera un

fluido de 6,7 tn/hora y una potencia de 670Kw, que son utilizados para generar energía mediante un sistema interconectado de 132 kw.

**Domuyo:** Este campo geotérmico está ubicado en la provincia de Neuquén, y el campo de calor se encuentra vinculado a la presencia de un volcán “cuaternario hoshonítico y que se manifiesta con fumarolas, fuentes termales y emanaciones gaseosas.” (Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f). El campo tiene una superficie aproximada de 600 km<sup>2</sup> que incluye el cerro Domo, como punto focal.

Actualmente el campo finalizó la etapa de prefactibilidad, se identificó el lugar para perforar el primer pozo: este sería exploratorio y de gran profundidad y se elaboró el modelo geotérmico, que permitió identificar sus principales características.

El análisis estratigráfico permitió inferir la presencia de un reservorio ubicado a niveles poco profundos, 650 a 750 mts, inmediatamente debajo de una formación rocosa impermeable (tapón) que sella el reservorio. Los fluidos hidrotermales que ascienden desde los niveles profundos originan un sistema que pasa gradualmente de vapor-dominante (zona de fumarola) a mezcla agua-vapor con temperatura de 218° a 226° C a agua-dominante de 186° a 190° centígrados. .”(Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f)

El campo Domuyo genera calefacción y agua caliente al complejo turístico Villa Aguas Calientes, y además los visitantes pueden disfrutar de las distintas vertientes de agua termal que provee.

**Tuzgle:** Este campo se encuentra entre las provincias de Jujuy y Salta, el estado de este campo es la última etapa prefactibilidad, que se ha desarrollado en 900 km<sup>2</sup> de área. Los datos encontrados han permitido el desarrollo del modelo geotérmico en forma preliminar que sugiere la presencia “de un reservorio superficial que recibiría el aporte de una fuente ubicada en niveles inferiores, donde actúan dos circuitos hidrotermales

conectados por fracturación profunda. Los fluidos estarían alojados en rocas eruptivas antiguas fisuradas y controladas por estructuras verticales que determinan el ascenso de los fluidos hidrotermales.” (Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f)

Este sistema ha permitido medir una temperatura profunda oscila entre los 132° y 142° C, con una baja relación agua-vapor. En este campo se han realizado numerosos estudios, que han permitido encontrar “17 pozos de medición de gradiente.”(Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f). Debido que el campo se encuentra muy lejos de “los centros de distribución eléctrica, la oferta energética del área, esencialmente minera, no cubre las necesidades de la población. Se estima que la demanda potencial de energía aumentara si se mejora el suministro.” (Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f)

**Valle del Cura:** Este campo ubicado en la provincia de San Juan, inició estudios de prefactibilidad en su primera fase, a partir de un informe “de anomalías químicas e isotópicas, que permitió conjeturar la probable existencia, a profundidades accesibles por perforación, de fluidos de tipo agua-vapor con temperaturas superiores a los 200° C y en niveles de circulación y almacenamiento secundarios, temperaturas de 130° - 150° C.”(Secretaría de Industria y Minería de la nación, s.f). Este campo pertenece a la región del volcán Tórtolas, y se sabe que existen cuerpos subvolcánicos que pueden ser explotadas para la generación de energía y calor.

### **Geotermia en Chile**

Chile, por su parte por tener regiones sobre la cordillera de los Andes, tiene un gran potencial geotérmico, a pesar de haber estado en estudio desde 1920, aún no genera energía para sus necesidades internas.

Entre los avances en geotermia en Chile se encontraron los siguientes:

**Proyecto geotérmico Curacautín:** El desarrollo está a cargo de la empresa MRP Geotermia, ya realizó perforaciones para establecer la factibilidad de realizar el montaje de una planta generadora en La Araucanía. El primer pozo exploratorio tuvo una profundidad de 2.575 metros, se terminó de explorar en enero de 2012, para hacerlo se utilizó el método de perforación direccional y las pruebas de flujo y producción demostraron la existencia de fluidos de agua y vapor a más de 280°C, información esencial para el desarrollo de ingeniería de la futura central.

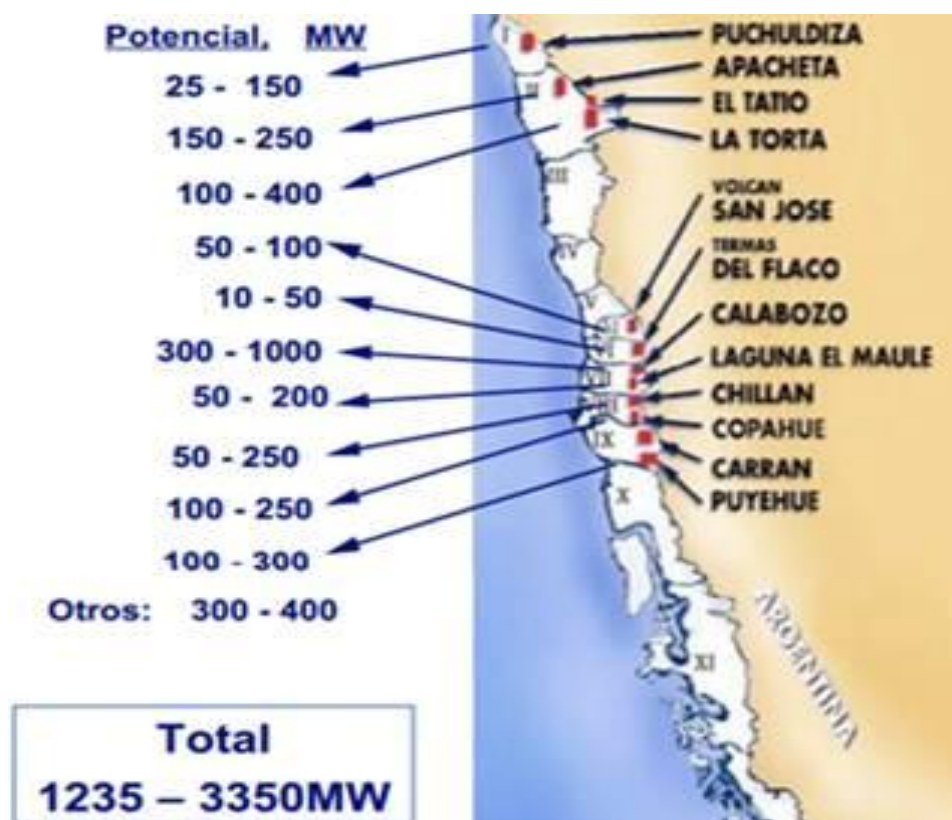


Figura 11. Pozo de exploración geotérmica en Chile

Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile. (2013)

RüdigerTrenkle, country manager de MRP Geotermia, afirma a Revista Electricidad que la perforación para este proyecto “tuvo desafíos logísticos como trabajar en la alta montaña, con las vicisitudes meteorológicas de nieve y viento en invierno.

“La perforación del segundo pozo fue mejor, porque se aprendió la forma de trabajo en la zona. El equipo, que se trajo desde Argentina, ya se había usado en la zona de



Apacheta, actual Cerro Pabellón, en el norte del país”, dice Trenkle.  
(Revistaei.2016/05/27)

En este país hay un proyecto en construcción de central geotérmica se llama Cerro Pabellón, y está ubicado en la comuna de Ollagüe, en la Región de Antofagasta. Y es la única construida a una altura 4.500 metros sobre el nivel del mar.

“La planta, de propiedad de Geotérmica del Norte, sociedad controlada por el 51% por Enel Green Power Chile Ltda., y una participación del 49% de ENAP, se compone de dos unidades de 24 MW con una capacidad instalada total bruta de 48 MW.”  
(Villalobos, 2016)

Se espera que cuando la planta entre en operación, produzca unos 340 GWh al año, con esta energía, se pueden satisfacer las necesidades de 154.000 hogares aproximadamente, con ello se puede evitar que cada año, se emitan a la atmósfera de algo más de 155.000 toneladas de CO<sub>2</sub>. La inversión inicial para la construcción de esta planta fue de US\$320 millones y se calcula que estará en funcionamiento en el primer semestre de 2017

### **Geotermia en Brasil**

En Brasil, Hamza, Gomes & Ferreira (2005), identificaron un potencial alto de los sistemas geotérmicos, especialmente los de alta entalpia, el cual se encuentra en las islas sobre el océano Atlántico de Fernando de Noronha y Trinidad. También se identificaron recursos de baja entalpia (<90°C) en la región central del Brasil, que comprende los estados de Goiás y Mato Grosso y al sur en el estado de Santa Catarina. Se encontró también un potencial geotérmico para la explotación a gran escala de agua a baja temperatura para utilización industrial y la calefacción de espacios en la parte central de la cuenca de Paraná (situada las regiones del sur y Sudeste de Brasil).

En los municipios de Cornélio y Procópio, del estado de Paraná, se encontró una industria que desde de 1980 utiliza, dos pozos, desde los cuales el agua geotérmica bombeada a 50 °C, se usa para el manejo de las calderas utilizadas en la producción de café en polvo. Desde 1970, en Taubaté, al interior de São Paulo se utiliza el agua geotermal, con temperatura de 48 °C, es utilizada para el procesamiento industrial de la madera.

De acuerdo con Cardoso, Hamza & Alfaro (2010), los recursos geotérmicos que se encuentran en Brasil pueden generar 250 MWt (Mega Watt termal), encontrando una localidad con alta entalpia y 25 localidades consideradas de baja entalpia.

Los estudios han encontrado evidencia de la existencia de recursos geotérmicos de temperatura media entre los 3 y 5 kilómetros de las regiones del noreste y centrales de Brasil y la existencia de recursos de baja temperatura en el Sistema Acuífero Guaraní (Cardoso; Hamza & Alfaro, 2010). Sin embargo, la energía geotérmica en el país se utiliza casi exclusivamente para fines recreativos, en parques de aguas termales, tales como Caldas Novas (GO), Piratuba (SC), Araxá (MG), Olimpia, Lindenow Aguas y Aguas San Pedro (SP). Vichi; mansor, 2009 (Citado por Swarowski, N. et al. 2013). Estudios geotérmicos potenciales en Brasil. De acuerdo con Hamza, Gomes & Ferreira (2005). Según Gomes (2009), los primeros estudios que evalúan los recursos geotérmicos en Brasil fueron de Hamza & Eston (1981) & Hamza (1983). Los más recientes estudios de ámbito regional son los de Alejandría, Couy & Rodrigues (2012), que abordan la evaluación y utilización de los recursos geotérmicos, para uso directo, y generación de electricidad, en él, recogen los datos de Gomes & Hamza (2005), Gomes (2009), Souza Filho (2012) y Rabelo et al. (2002), quienes evaluaron el potencial geotérmico en el estado de Minas Gerais, y obtuvieron como resultado que las regiones de mayor temperatura geotérmica son la cuenca de San Francisco, el Triángulo Mineiro

y algunos pequeños lugares al sur y sudeste con temperaturas que se encuentran entre 150°C y 180°C y por ello se clasifican como recursos térmicos de alta entalpía.

El estudio evaluó la geotermia para la generación de energía, mediante la inyección de fluidos que circulan fracturados a través de rocas sedimentarias en la cuenca de Taubaté, encontrando dos áreas en el Valle del Paraíba con buenos resultados, y que Río de Janeiro, es el estado de Brasil con mayor registro de energía geotérmica. Y Rabelo et al. (2002) evaluaron el potencial de energía geotérmica en el acuífero Guaraní, ubicado en los estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Sao Paulo, Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul, y que comparte con Paraguay, Uruguay y Argentina- Según estos autores en Brasil, Acuífero guaraní se utiliza en aplicaciones agrícolas e industriales, pero que a pesar de las temperaturas medidas (máx. 70 ° C), esta reserva puede ser explotada y generar energía geotérmica equivalente a 50 mil millones toneladas de petróleo. (Hamza, Gomes & Ferreira 2005).

El Sistema Acuífero Guaraní, es el más importante de América del Sur, se encuentra en la parte central y oriental del continente sudamericano, repartidas en una superficie de unos 1.196.500 kilómetros<sup>2</sup>, parte del territorio cuatro países, Argentina, Paraguay, Uruguay y Brasil, donde se extiende en un área aproximada de 840.800 km<sup>2</sup>, en donde hay ocho estados brasileros: Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Sao Paulo, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina y Mato Grosso (Foster, et al,2006, p.1), siendo para el Brasil el que posee una posición estratégica, por contener la mayoría de las reservas de agua subterránea, y de recarga. (Hamza, Gomes & Ferreira, 2005).

### **Geotermia en Uruguay**

Cernuschi, F. (2014), encontró que hay límites en el potencial geotérmico del país, debido a que el gradiente geotérmico está estimado en un ~28.6 °C /km que se encuentra

relacionado con el aislamiento térmico que se produce por los basaltos Cretácicos en la Cuenca Paraná, entre las características de este lugar se encontraron:

- 1) Las aguas templadas y a presión del Sistema Acuífero Guaraní ( $\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $>1000\text{ m}$ ), tienen principalmente uso recreativo actual, pero pueden ser usadas para la calefacción doméstica o industrial en invernaderos, lo que permitiría reducir el consumo de energía fósil.
- 2) Existen posibles acuíferos “Carbonífero-Pérmicos infrayacentes, posiblemente sobrepresurizados ( $\leq 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\sim 2300\text{ m}$ ) permitirían generar energía eléctrica utilizando plantas binarias enfriadas por agua superficial. De constatarse la existencia de estos u otras rocas sedimentarias a mayor profundidad ( $\leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\sim 4500\text{ m}$ ), plantas binarias convencionales podrían impactar el consumo eléctrico nacional. (Cernuschi, F., 2014, p. 1)
- 3) Considera la existencia de un sistema geotérmico en el basamento granítico a  $>5000\text{ m}$  de profundidad, esto permitiría generar cantidades importantes de energía eléctrica mediante el uso de plantas binarias.

Se requieren estudios de campo en la cuenca de Paraná para determinar la entalpía de ella y saber cuál es el real potencial energético de esta fuente.

### **Geotermia en Perú**

El potencial geotérmico en el Perú inició su evaluación en 1970, cuando se realizó el inventario de fuentes termales en todo el país, a cargo del Servicio Geológico del Perú, (Ingemmet). Y posteriormente se emprendieron otros estudios buscando establecer el potencial geotérmico, a cargo de la Cooperación Técnica Internacional.

“En 1988, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) auspició un estudio similar en la zona (Electrosur S.A.). En el año de 1999, en virtud al convenio de cooperación técnica IPEN-PET, se efectuó el proyecto denominado PER 08/012

“Estudio del Potencial Geotérmico del Altiplano Sur”, realizado parcialmente a nivel de prefactibilidad. A finales del 2006, por iniciativa del Minem, y con base en la suscripción del “Memorándum de Entendimiento” entre el Minem y el JapanBank International Cooperation (JBIC), Ingemmet retoma los estudios de “Evaluación del Potencial Geotérmico del Perú”, realizando investigaciones de exploración geológica y geoquímica de las manifestaciones geotermales por regiones.” (Ingemmet, 2014, p. 7)

El objetivo de estos trabajos fue generar una base técnico-científica, que permitiera determinar el verdadero potencial geotérmico del Perú, que sirviera para la promoción de la exploración y explotación de los recursos geotérmicos a diversa escala.

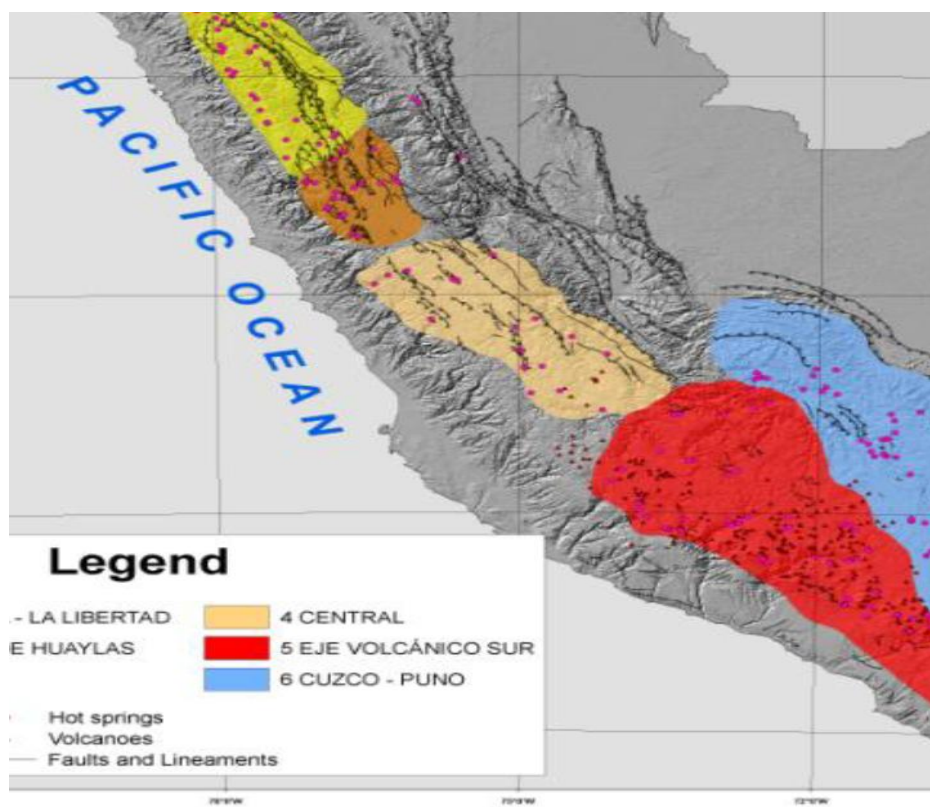


Figura 12. Potencial Geotérmico Perú

Fuente: Salazar (2013)

El Ingemmet en 2008, realizó la actualización del Mapa Geotérmico del Perú que identifica seis regiones geotermales:

1. Cajamarca – La Libertad

2. Huaraz
3. Churin
4. Central
5. Eje volcánico Sur
6. Cuzco – Puno

En el Perú la zona con alta presencia de aguas termales es la zona Sur del país, en ella se inició investigaciones en el 2007, en la región de Tacna, encontrando que hay cinco zonas que tienen fuentes geotermales de mediana y alta entalpia, que prometen la oportunidad de generar energía, el estudio de Cruz, Vargas, &Cacya, (2013), dice que: “Dichas zonas se localizan por encima de los 4000 msnn, con manifestaciones geotermales como: fuentes termales, fumarolas y geysers, cuyas temperaturas llegan a superar en algunos casos los 90 °C en superficie, y en profundidad por encima de los 200 °C. Calculados mediante los geotermómetros químicos. (p.6).

Estas zonas se encuentra localizadas sobre la placa de Nazca, todo dentro de la cordillera de los Andes, que es común a Sur América y donde se ha encontrado un alto potencial geotermal.

En esta región, las manifestaciones geotérmicas presentan temperaturas desde 30° hasta 90 °C, la conductividad eléctrica llega a valores superiores a los 7000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , y el pH muestra valores entre 6 a 9 con excepción de las aguas localizadas en las quebradas de Azufre Chico y Azufre Grande de la zona de Tutupaca con valores de pH inferiores a 5. Asimismo, los caudales máximos individuales superan los 5 L/s, mientras que, el conjunto de fuentes termales en la zona geotermal de Calientes, llegan a superar los 60 L/s. La mayoría emite gases como H, S y CO. (Cruz, Vargas, &Cacya, 2013, p. 6),

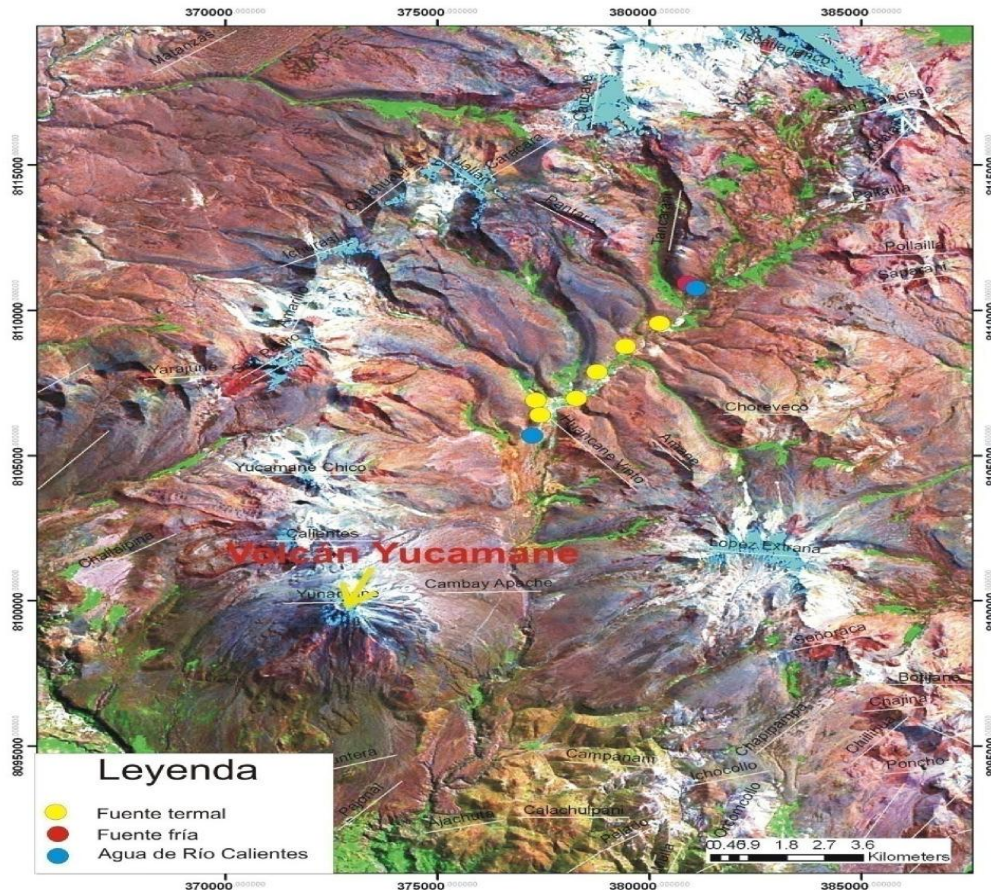


Figura 13. Mapa de localización de las fuentes termales de Calientes

Fuente: Cruz, V. & Matsuda K. (s.f).

El mapa muestra seis puntos amarillos, que representan los puntos de agua termal, y dos puntos azules que corresponde al Río Calientes, la zona tiene una manifestación geotérmica de alta entalpia más de 200 °C.

La región de Tacna, tiene vocación minera, para lo cual requiere de energía eléctrica para desarrollarla, pero hasta la fecha está se obtiene del sistema interconectado del Perú, por lo tanto se obtiene de la quema de combustibles fósiles, lo que debe ser modificado, si se quiere cumplir con la norma internacional de disminuir el consumo de esta energía por el daño que le hace al planeta.

Este desarrollo contribuiría en un porcentaje considerable al sistema energético interconectado nacional y ayudaría a resolver el problema de contaminación de aguas porque abastecería de agua no contaminada derivada de aguas porque

abastecería de agua no contaminada derivada de la condensación del vapor geotérmico utilizado en la generación de electricidad. Estas aguas serían utilizadas en la agricultura y otras industrias locales. De igual modo, los usos directos impulsarían el desarrollo local de la región.” (Cruz, Vargas, & Cacya, 2013, p. 6),

En la región de Tacna, se identificó un terreno de 14 Km<sup>2</sup>, en la cual se han encontrado hasta ahora “110 manifestaciones geotermales” (Cruz, V; Vargas, V. & Cacya, L. 2013, p. 21), que se reconocen por tener fuentes de agua y vapor, y de distintas longitudes hay “fracturas desde los 5cm hasta diámetros de más de 5 metros.

La energía geotérmica dentro de la cuenca del río Colca todavía, se encuentra en desarrollo. Desde el año 2001 existen dos proyectos para la explotación de la energía geotérmica a nivel de estudio de factibilidad ubicados en las lagunas Chivay y Caylloma, proyectos que buscan el potenciamiento del turismo en el valle del Colca (Ministerio de Energía y Minas, 2001).

Hasta el momento, el principal uso que se le viene dando a la energía geotérmica es solo con fines térmicos, utilizados en balnearios y piscinas climatizadas, ubicadas a lo largo del valle del río Colca. El INGEMMET viene efectuando a nivel país en el sur la evaluación del potencial geotérmico. (Ministerio de Energía y Minas, 2001).

La región Moquegua localizada en esta misma región, en la cual las fuentes geotermales se asocian a “fluidos de origen volcánico y en algunos casos mixtos; es decir, la acción del agua meteórica que se infiltra al subsuelo y en profundidad se ve influenciada por alguna fuente de calor, asociada en su mayoría a la actividad magmática. .” (Ingemmet, 2014, p. 7)

Se puede concluir que en el Perú las mayores reservas de energía geotérmica de alta entalpia, se localizan en la Región cinco (V), conocida como eje volcánico sur.



## Geotermia en Bolivia

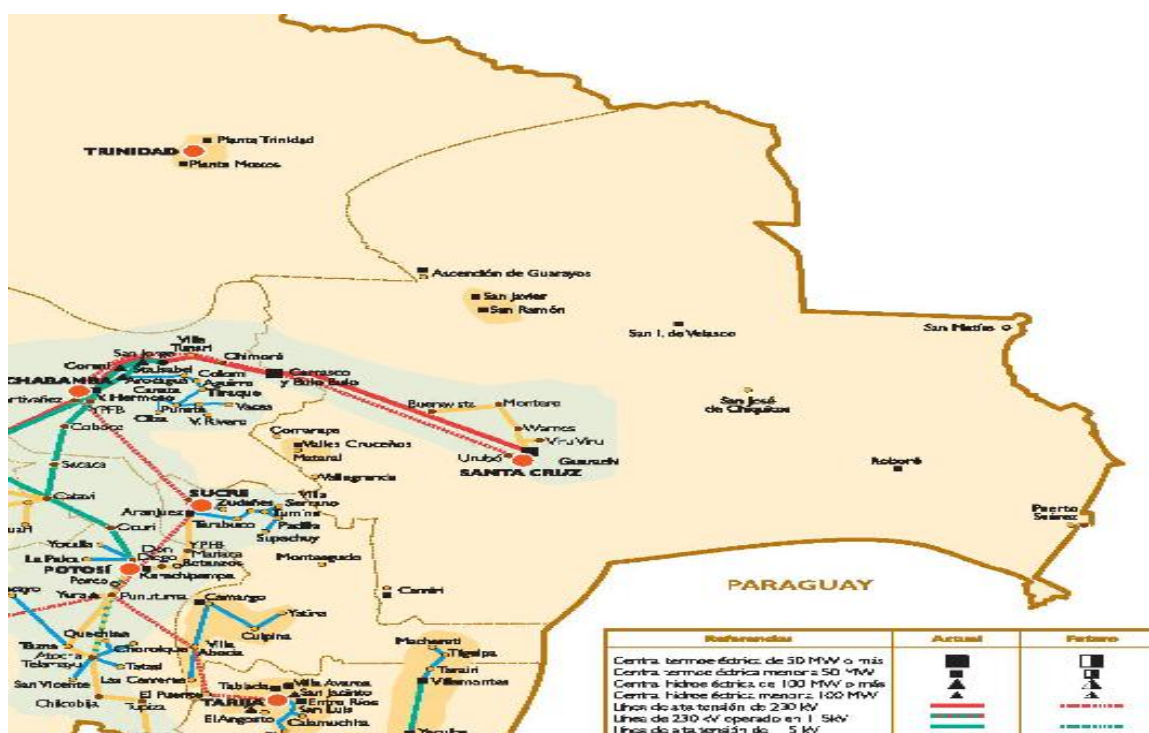


Figura 14. Mapa geotérmico de Bolivia

Fuente: Salazar (2013)

En este país, se han identificado zonas de gran potencial en la Cordillera Occidental, donde hay muchos volcanes y es el límite entre Bolivia y Chile: “la zona de Laguna Colorada, que alberga los pozos Apacheta y Sol de Mañana, y la zona del Volcán Sajama” (Velasco & Peñaranda; 2011, p. 51)

Este pozo ha sido caracterizado por Velasco & Peñaranda, así: Tiene un caudal de 30 Tn/hora de una mezcla de vapor y líquido, siendo el vapor de una calidad del 45%, y la planta usa de 2 a 3 Tn/hr de forma directa del pozo. (p.52)

## Geotermia en Ecuador

En el Ecuador, por hacer parte de la cordillera Andina, se ha encontrado un gran potencial geotermal, especialmente cerca de la frontera con Colombia, la existencia de más de 50 volcanes, muchos de ellos con potencial geotérmico.

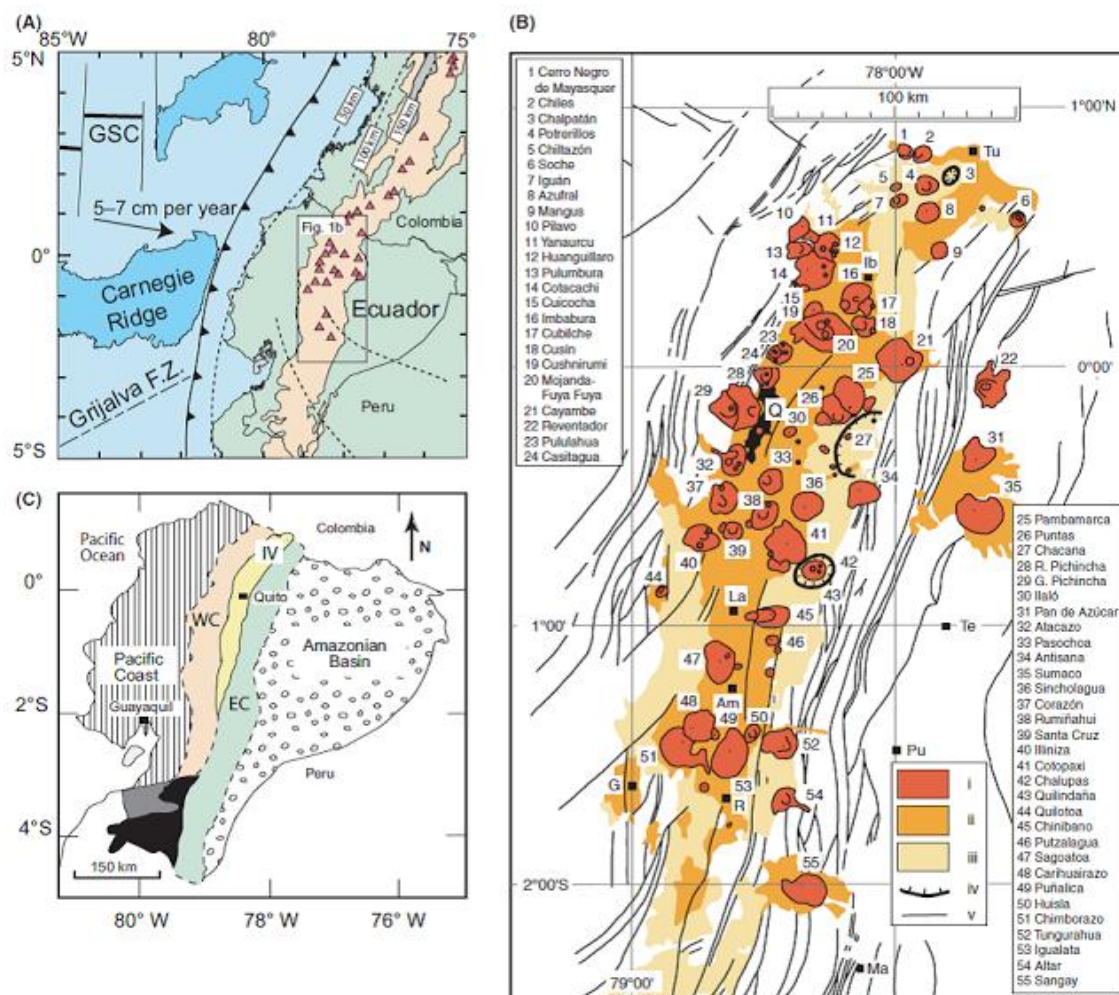


Figura 15. Mapa volcánico del Ecuador

Fuente: Santamarta (2013)

Las características geológicas del territorio del Ecuador, son muy favorables para prever la existencia de una importante anomalía regional del flujo de calor terrestre, debido al hecho que, desde el período terciario y en los niveles superiores de la corteza, se han emplazado cámaras magmáticas que alimentan a una intensa y persistente actividad volcánica que continúa manifestándose en el segmento septentrional de la Cadena Andina. No es casual el hecho que en el territorio ecuatoriano exista una elevada concentración de aparatos volcánicos diferenciados, de edad cuaternaria a reciente, cuyos sistemas de alimentación son los que originan la antes mencionada anomalía del flujo de calor terrestre. En 1978, el Instituto Ecuatoriano de Electrificación

(INECEL), comenzó las actividades de exploración de los recursos geotérmicos con miras a diversificar la oferta de recursos naturales aptos para la generación eléctrica y reducir el uso de combustibles derivados del petróleo. Estas actividades concitaron un apreciable interés y el consiguiente nivel de respaldo, lo que favoreció el desarrollo de los siguientes estudios y acciones conexas. (Coviello, F. 2000, p. 15).



Figura 16. Potencial Geotérmico en Ecuador

Fuente: Salazar (2013)

En la figura anterior, se pueden visualizar 6 áreas demarcadas como de interés prioritario, tres naranjas (A) Tufiño, Imabura – Cayambe y Chalupas y tres vrdes (B): Ilo, Chimborazo y Cuenca – Azogues. En Tufiño se empezó a desarrollar el proyecto geotérmico en conjunto con Colombia, el cual se evalúa en este país.

Pero hay otras 17 que tienen diferentes temperaturas y que pueden ser utilizadas, para generar energía o calor para diferentes procesos, estas zonas se encuentran en distintas provincias del Ecuador como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 7. Otras zonas geotérmicas de Ecuador

No	Lugar	Provincia	Tipo de recurso
1	Tufiño	Carchi	Recurso de Alta y Baja temperatura
2	Chalpetan	Carchi	Recurso de Alta y/o Baja temperatura
3	Iguen	Carchi	Recurso de Alta y/o Baja temperatura
4	Cahachimbiro	Imbabura	Recurso de Alta y Baja temperatura
5	Cuicocha	Imbabura	Recurso de Alta y Baja temperatura
6	Imbabura	Imbabura	Recurso de Alta y/o Baja temperatura
7	Cayambe	Pichincha	Recurso de Alta y/o Baja temperatura
8	Mojanda	Pichincha	Recurso de Alta y Baja temperatura
9	Pululahua	Pichincha	Recurso de Alta y Baja temperatura
10	Valle Chillos	Pichincha	Recurso de Media y/o Baja temperatura
11	Papallacta	Napo	Recurso de Alta y Baja temperatura
12	Chalupas	Napo/Cotopaxi	Recurso de Alta y Baja temperatura
13	Tungurahua	Tungurahua	Recurso de Baja temperatura
14	Chimborazo	Chimborazo	Recurso de Media y Baja temperatura
15	Salinas	Bolívar	Recurso de Baja temperatura
16	San Vicente	Guayas	Recurso de Media y/o Baja temperatura
17	Cuenca	Azuay	Recurso de Media y/o Baja temperatura

Fuente: Trabajo propio con datos de Coviello, F. 2000, p.18

En los recursos de Alta y media temperatura se puede generar energía y en los de media o baja, se puede obtener calefacción y pueden ser utilizados para baños termales, y turismo.

## 7. Proyectos vigentes en el país que pretenden implementar el uso de energía geotérmica

Los tres primeros proyectos que empezaron a trabajarse para Colombia, fueron dos en Pasto, el Chiles – Cerro Negro, y el Azufral, el primero es el de mayor nivel de avance, porque se realizó un proyecto binacional con Ecuador y la zona de Tufiño, por la cercanía de los pozos y la alta entalpia que permite generar energía.

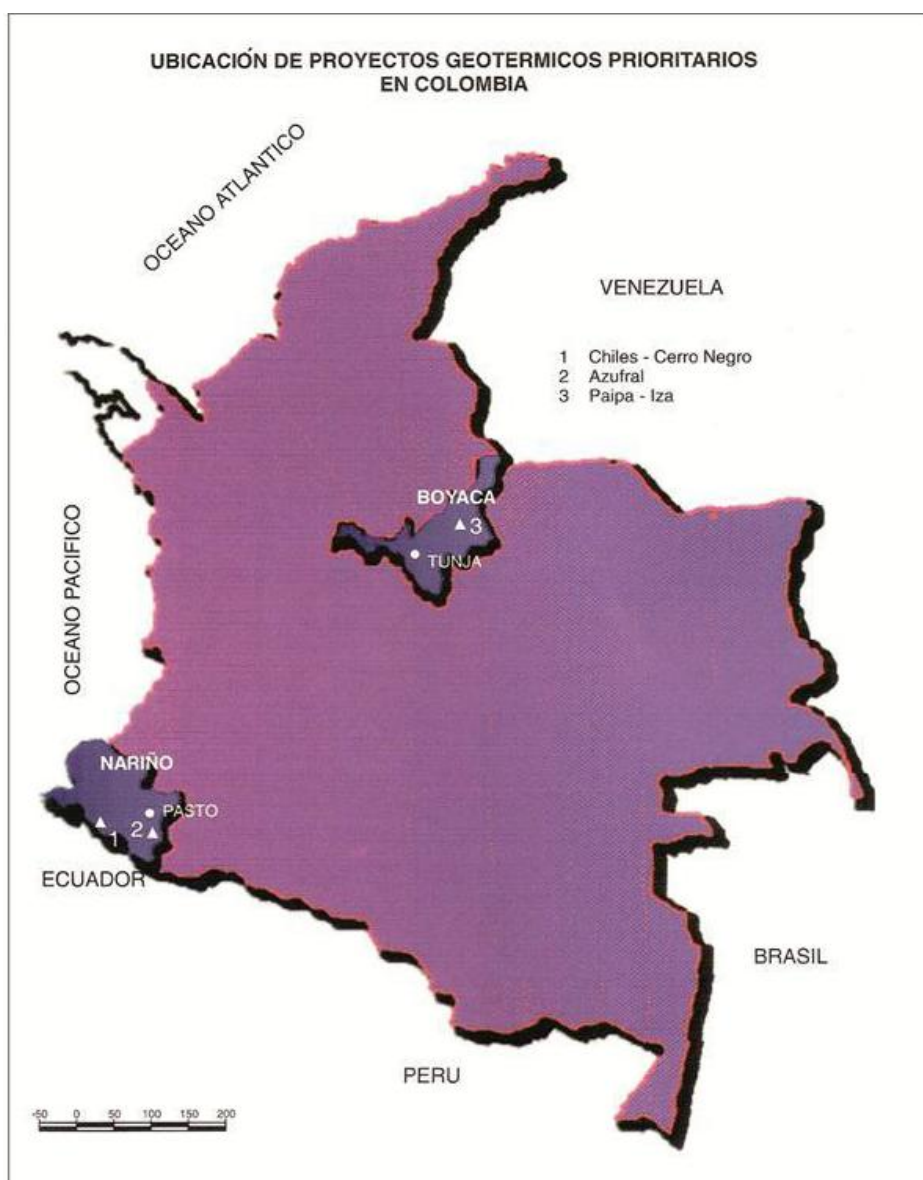


Figura 17. Proyecto Prioritarios en Colombia

Fuente: CORPOEMA. (2010), Vol. 2.

El otro proyecto de interés prioritario está ubicado en la Cordillera Oriental, en el área de Paipa (Boyacá), la fuente termal, se encuentra ubicada en el sector de Olitas, y en el Manzano, por la vía Paipa – Toca.

Según Porras (2010), “El área se identificaba como Paipa- Iza, pero, estudios de prefactibilidad posteriores que incluyeron geología y geo-eléctrica, indicaron que Paipa e Iza constituyen dos áreas completamente separadas” (p.28). Y de las dos el interés prioritario ha sido Paipa, debido a que sus aguas tienen presencia de cloruro, son alcalinas.

(...). Se destaca la posible presencia de dos acuíferos térmicos en rocas sedimentarias granulares y silícicas con permeabilidad predominante secundaria. Los reservorios estarían localizados a una profundidad entre los 1.500 y 3.000 m. (ICEL, 1982, citado por Porras; 2010, p.29)

## **8. Avance en los proyectos de energía geotérmica Parque Nacional Natural De Los Nevados y Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.**

### **8.1 Parque Nacional de los Nevados**

En este parque se encuentra el proyecto denominado Nereidas, que recibe el nombre del Valle que lo circunda, está ubicado en el lado oriental del municipio de Villamaría (Caldas, Colombia), sobre el flanco occidental de la Cordillera Central, que incluye de forma parcial “los cauces de los ríos Claro, Molinos y la quebrada Nereidas. Para llegar a ella se toma la carretera que parte del municipio de Villamaría, pasa por el sitio El Parnaso y llega al Volcán Nevado del Ruiz, la cual atraviesa la zona; en la finca Los Alpes hay una ramificación que conduce a la plataforma en la que se realizó la perforación exploratoria en 1997. (Vega, 2014, p.16)

El estudio de Vega, (2014), desarrolló el modelo geológico del Valle de las Nereidas, buscando reunir toda la información que diversos estudios entre 1978 y el 2013, que se habían desarrollado en diferentes aspectos del tema, este estudio, incluye “los modelos estructural, estratigráfico y litológico, así la determinación de las heterogeneidades del reservorio”, (p.12), constituyendo una fase de gran importancia en el estudio de un yacimiento, por el volumen de trabajo y el impacto sobre el tema.

El desarrollo cronológico de este proyecto se da de la siguiente forma:

**Tabla 8. Desarrollo cronológico proyecto Nereidas**

Fecha	Fase	Avance	Estado actual
1970-1980	Reconocimiento	Se inicia, la exploración del Nevado del Ruiz, encontrando el Valle de las Nereidas, como una fuente de generación de energía desde la geotermia. Esta fase dura por lo general un año, aunque en Colombia, empezó en 1970 y se pasó a la segunda fase en 1994.	Completo



1994	Prefactibilidad	En este año GESA, una empresa del grupo CHEC, obtiene la licencia ambiental, para identificar el potencial del área, y el diseño de las perforaciones. Esta fase dura aproximadamente dos años y medio, en Colombia duró tres años.	Completo
1997	Factibilidad	Nereidas 1: Primer pozo perforado, profundidad 1.469 metros. Esta fase dura en promedio año y medio, pero en Colombia aún no ha terminado, se escribe a continuación la cronología de esta fase.	Completo
2008		GESA, fue absorbida por la CHEC y en asocio con la EPM, reinician los estudios de exploración del Valle de las Nereidas	Completo
2012 - 2014		CHEC se asocia con Dew hurst Group, y con aportes de la Agencia Norteamericana para el Comercio y el Desarrollo (USTDA, por sus siglas en inglés), inician estudios geocientíficos para establecer la factibilidad técnica, ambiental y económica.  Se inicia acompañamiento geoambiental a comunidades aledañas al proyecto, incluyendo: caracterización, comunicación, conservación y preservación del entorno.	
2015		Elaboración del modelo geológico, determinando con precisión los puntos de fractura para nuevas perforaciones. Además	En proceso

		se realizó alianza con LAGEO, una empresa del Salvador, con experiencia en desarrollo y operación de proyectos geotérmicos, buscando transferencia de conocimientos	
2016 a 2018		Se proyecta explorar tres nuevos pozos. Desarrollo del campo y construcción: Esta decisión está esperando ser tomada en el 2018, cuando los pozos hayan sido perforados y se pueda confirmar la viabilidad de generación térmica de energía.	En proceso

## 8.2 Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro (TCCN)

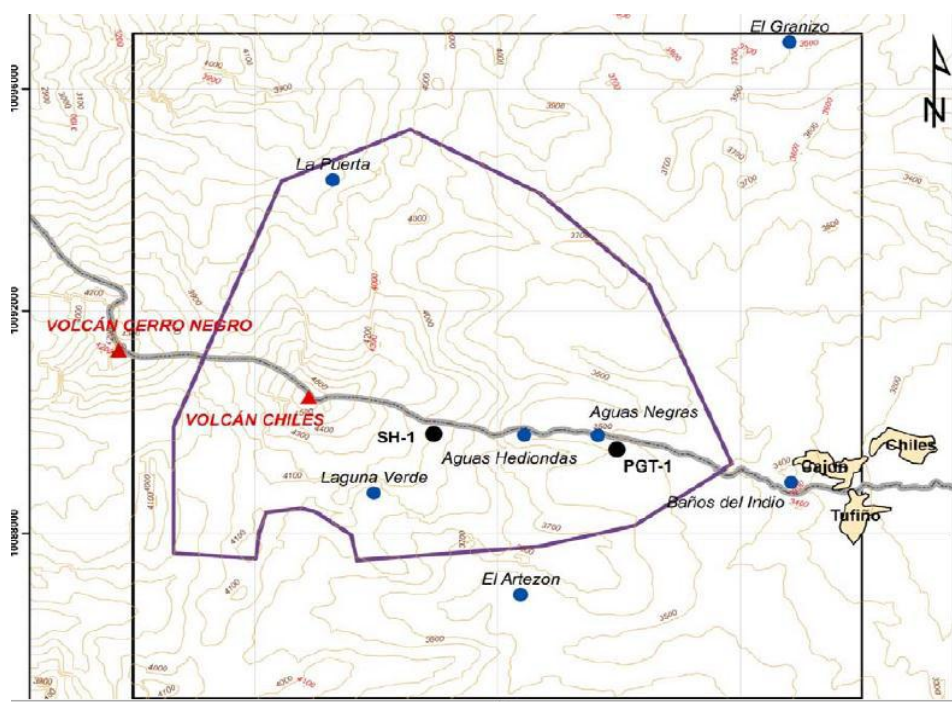


Figura 18. Mapa del proyecto Tufiño-Chiles-Cerro Negro

Fuente: Oliveros (2014)

Coviello (2000), en un estudio patrocinado por OLADE/CEPAL/GTZ, y que hace parte del documento “Energía y Desarrollo en América Latina y el Caribe”, realizó un estudio inclusivo de los dos países, para establecer que tan adelantados estaban en

aspectos que afectan el acuerdo binacional, tales como: Avance de la geotermia, marco jurídico del sector eléctrico, geotérmico, exportaciones, laboral, tributario, medio ambiente y la existencia o no de zonas francas.

El proyecto está ubicado en la Cordillera Occidental, frontera Colombia – Ecuador, por el lado de Colombia está ubicado en el Departamento de Nariño en los volcanes Chiles (4.730 m) y Cerro Negro (4.470 m) y por Ecuador en la Provincia del Carchi, cerca de la parroquia de Tufiño, con una población promedio de 3.000 habitantes.

El área del proyecto TCCN pertenece por tanto a la zona de integración fronteriza entre Colombia y Ecuador, por lo que goza de los beneficios resultantes de acuerdos e iniciativas específicas, establecidos por los dos países en el marco de las Comisiones de Vecindad con el objeto de impulsar el desarrollo socio-económico de dichas zonas (...)(Coviello, 2000, p. 2)

El proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro. Se encuentra en la fase de prefactibilidad, que consiste en realizar estudios que “incluyen la toma de fotografías aéreas, restitución cartográfica, estudios de geología de detalle, geofísica, geoquímica, hidrogeología, perforación de pozos de gradiente geotérmico y estudios ambientales para el desarrollo de la fase de factibilidad. ISA GEN, CELEC EP. 2011–2014. (En Ejecución). (Marzolf, 2014)

En resumen el acuerdo binacional, fue firmado en julio de 2010, y en abril de 2011, se firmó el contrato para desarrollar el estudio de prefactibilidad, ambos países esperan estar obteniendo energía geotérmica en el 2018.

## 9. Conclusiones

El primero objetivo buscó definir la línea base de la exploración de energía geotérmica, en el mundo, y para ello se realizó un recorrido encontrando que en Europa y Asia, hay estudios en el municipio Indjija (Serbia), al norte del país, donde se encontraron dos pozos de aguas termales con uso potencial para producir energía.

En Suiza, existe interés por la energía geotérmica, pero hay mucha desinformación acerca de los impactos que esta pueda traer, tanto así, que algunos la asocian a alta sismicidad, lo que genera oposición a su desarrollo, entre los ciudadanos.

En Alemania, se encontró una situación similar, para los ciudadanos es más preocupante la sismicidad inducida que ocupó el sexto lugar, que los problemas de del medio ambiente que ocupó el puesto décimo, según un estudio realizado. En este país, existen plantas de energía geotérmica que tienen una capacidad productiva de 67 TWh / año de electricidad y 122 TWh / año de producción de energía térmica

China, tiene desarrollos de energía geotérmica, al sur del Tíbet, en el oeste de Yunnan, oeste de Sichuan, y en Taiwán. El área de calentamiento geotérmica es de 300 millones de metros<sup>2</sup>, y se espera llegar a los 500 millones de metros<sup>2</sup> para el año 2020. La capacidad instalada para la generación de energía geotérmica es 27.78 MWe, y se espera que alcance 100 MWe en 2020.

China es el primer país productor de energía geotérmica, seguido muy de cerca por los Estados Unidos y en tercer lugar Suecia, entre los 10 primeros no se encontró ningún país latinoamericano. Estos datos también indican que la explotación de la geotermia es muy pequeña en todo el mundo y por lo tanto si se quiere cambiar la producción a energías más limpias hay una oportunidad para explotarla y ayudar así a disminuir el impacto que sobre la capa de ozono tiene la producción de energía fósil.

En el Adriático, confluyen varios países, por una margen Italia y por la otra Croacia, Eslovenia, Bosnia y Herzegovina, Montenegro y Albania, en ambos lados se han realizado estudios para explorar la energía geotérmica, buscando desarrollar un sistema de explotación geotérmica que permita generar calefacción en el invierno y refrigeración en el verano para los hogares y comercios en la Unión Europea.

En América del Norte, se encontró que en Alaska, la geotermia inició a principios de 2009 en la isla de Akutan, con la exploración de un pozo, en el 2010, se dio apertura al segundo, en el 2014 se dio apertura al tercer pozo pero no hay datos actualizados del estado de estos proyectos.

En Canadá, la comisión federal del Instituto Geológico y Minero en su informe anual, afirma que el país tiene recursos geotérmicos tan grandes que puede suministrar electricidad a todo el país y podría vender a Alaska, estos recursos se han encontrado concentrados en la Columbia Británica, Alberta, Yucatán y en otros lugares del resto del país, pero no en la misma cantidad. El recurso geotérmico en Canadá, es que es muy superficial, permitiendo el aprovechamiento a bajo costo.

En Estados Unidos, se encontró que hay plantas de gran tamaño en el Manantial de agua caliente (al norte de San Francisco), lo que le permite ser el mayor generador de energía geotérmica a nivel mundial, le sigue Indonesia en el ranking mundial de generación, las Filipinas es tercero y concentraciones mayores se pueden encontrar en Islandia y en Europa desde Turquía hasta Italia.

La geotermia se ha considerado como fuente de energía renovable, libre de emisiones, que por su escaso nivel de desarrollo, tiene altos costos de apertura de los pozos, pero una vez que esto se ha logrado, la energía como tal es gratuita y continua, lo que hace que la inversión inicial se recupere prontamente.

En Centro América se encontró que México, es uno de los países más avanzados en la producción de energía geotérmica. Se destacan los campos, Cerro Prieto y Los Azufres en Michoacán en etapa de producción; La Primavera en el Estado de Jalisco y Los Humeros en Puebla), están en la fase de evaluación, y hay estudios de 27 campos de los cuales 16 están en la fase de exploración, se destacan: El Ceboruco (Nayarit), Las Planillas (Jalisco), Araró (Michoacán), Las Tres Vírgenes (Baja California Sur).

Cerro Prieto es uno de los proyectos geotérmicos más grandes del mundo, su capacidad instalada es de 620 000 kilowatts de energía eléctrica; pero tiene capacidad para más de 700.000 kilowatts, hay reservas probadas de 220 000 kilowatts y probables de más de 220 000 kilowatts). La ubicación de este pozo cerca de la frontera de los Estados Unidos, le ha permitido exportarla, por existir un sobrante debido a la vocación eminentemente agrícola de bajo consumo eléctrica.

Guatemala ha identificado su potencial geotérmico con estudios desde 1972, se han detectado trece áreas con potencial geotérmico y cinco áreas de reserva nacional: Zunil, Amatitlán, San Marcos, Moyuta y Tecuamburro. Hay dos plantas geotérmicas de producción continua de energía eléctrica a cargo de las empresas Orzunil I de Electricidad Limitada en el área de Zunil y Ortitlán limitada en el área de Amatitlán ambas con una capacidad de generación de 25.2 MW.

El Salvador, en este país, se genera energía geotérmica desde 1975, aumentando en forma constante hasta el 2012 que logró generar 204,4 MW, a cargo de la empresa LaGeo, en Ahuachapán, con dos pozos y una capacidad instalada de 95MW y Berlín con dos pozos en explotación con una capacidad instalada de 109,44%. Existen además 12 áreas geotérmicas con temperaturas subterráneas que se estiman superiores a 150 °C (alta entalpía), así como 12 áreas geotérmicas con temperaturas subterráneas que se estiman entre 90 a 150 °C (baja entalpía), que se encuentran en fase de evaluación.

En Costa Rica, se está explotando el volcán de Miravalles, el cual ocupa el primer puesto en Centroamérica, por el tamaño del campo geotérmico, y es el noveno a nivel mundial por países, en este proyecto hay cinco unidades instaladas, y una capacidad total de 163,5 MWe. El proyecto Pailas, tiene una unidad instalada de 42,5 MWe y una en desarrollo que puede proveer 55MVe; hay dos proyectos más el Borinquen en etapa de factibilidad y el Pocosol en prefactibilidad.

En Panamá, los proyectos Colorado – Barú, Isla de Coiba, ChittradeCalobe, Valle de Antón, poseen un potencial total de 1,751.9 a 1,761.9 MV

En Suramérica, se inició la revisión por Argentina encontrando que tiene cuatro campos de gran importancia: el Copahue-Caviahue, Domuyo, Tuzgle y Valle del Cura, los cuales poseen alta entalpia, con temperaturas promedio de 230 °C., que los hacen propicios para la generación de energía.

En Chile, por tener regiones sobre la cordillera de los Andes, tiene un gran potencial geotérmico, a pesar de haber estado en estudio desde 1920, aún no genera energía para sus necesidades internas, se destacan actualmente: El proyecto geotérmico Curacautín, que ha permitido medir temperaturas cercanas a los 280°C, el desarrollo está a cargo de la empresa MRP Geotermia, también trabajan en el montaje de una planta generadora en La Araucanía. El avance de la geotermia en este país es lento, debido principalmente a las condiciones tan agrestes del terreno, que dificultan el traslado de los equipos necesarios para su exploración. Está también el proyecto en construcción de central geotérmica Cerro Pabellón, ubicado en la comuna de Ollagüe, Región de Antofagasta. Y es la única construida a una altura 4.500 metros sobre el nivel del mar, con una capacidad instalada de 48 MW.”Se espera que en operación, produzca unos 340 GWh al año, que puede satisfacer las necesidades de 154.000 hogares aproximadamente, evitando que cada año, se emitan a la atmósfera de algo más de 155.000 toneladas de

CO2. La inversión inicial para la construcción de esta planta fue de US\$320 millones y se calcula que estará en funcionamiento en el primer semestre de 2017

En Brasil se identificó un alto potencial de geotermia, especialmente de alta entalpia, en las islas del océano Atlántico de Fernando de Noronha y Trinidad. También se identificaron recursos de baja entalpia ( $<90^{\circ}\text{C}$ ) en la región central del Brasil, que comprende los estados de Goiás y Mato Grosso y al sur en el estado de Santa Catarina, en la cuenca de Paraná (situada las regiones del sur y Sudeste de Brasil), donde una industria que desde de 1980 utiliza, dos pozos, desde los cuales el agua geotérmica bombeada a  $50^{\circ}\text{C}$ , se usa para el manejo de las calderas utilizadas en la producción de café en polvo y desde 1970, en Taubaté, al interior de São Paulo se utiliza el agua geotermal, con temperatura de  $48^{\circ}\text{C}$ , para el procesamiento industrial de la madera. Además, hay evidencia de recursos geotérmicos de temperatura media entre los 3 y 5 kilómetros de las regiones del noreste y centrales del país, y de recursos de baja temperatura en la zona Guaraní, que comparte con Paraguay, Argentina y Uruguay.

En Uruguay, se encontró que hay límites en el potencial geotérmico del país, debido a que el gradiente geotérmico está estimado en un  $\sim 28.6^{\circ}\text{C}/\text{km}$  del Sistema Acuífero Guaraní.

El potencial geotérmico en el Perú es alto, hay identificadas seis regiones: Cajamarca – La Libertad, Huaraz, Churin, Central, Eje volcánico Sur y Cuzco – Puno. En la región cinco, está Tacna, cuenca del río Colca, con dos proyectos a nivel de factibilidad en las lagunas Chivay y Caylloma, que buscan el potencial turístico de este valle y la región Moquegua. Se puede concluir que en el Perú las mayores reservas de energía geotérmica de alta entalpia, se localizan en la Región cinco (V), conocida como eje volcánico sur.



En el Ecuador, por hacer parte de la cordillera Andina, se ha encontrado un gran potencial geotermal, especialmente cerca de la frontera con Colombia, la existencia de más de 50 volcanes, muchos de ellos con potencial geotérmico y con características geológicas favorables, se concretan en seis áreas Tufiño, Imabura – Cayambe, Chalupas, y Ilalo, Chimborazo, y Cuenca – Azogues. En Tufiño se empezó a desarrollar el proyecto geotérmico en conjunto con Colombia, el cual se evalúa en este país. Pero hay otras 17 que tienen diferentes temperaturas y que pueden ser utilizadas, para generar energía o calor para diferentes procesos.

En Colombia los proyectos vigentes son:

El Chiles – Cerro Negro, es un proyecto binacional con Ecuador y la zona de Tufiño, por la cercanía de los pozos y la alta entalpia que permite generar energía.

El segundo proyecto es el Azufra; en tercer lugar el proyecto ubicado en la Cordillera Oriental, Paipa (Boyacá), con fuente termal, se encuentra ubicada en el sector de Olitas, y en el Manzano, por la vía Paipa – Toca.

El proyecto Nereidas, ubicado en la base del Volcán Nevado del Ruiz, que se encuentra en la fase de factibilidad, es uno de los más importantes para el país, por el avance que tiene en la actualidad.

Para el logro del cuarto objetivo de evidenciar el avance de los dos proyectos más grandes Nereidas y Tufiño, se envió solicitudes a ISAGEN y la CHEC, para recolectar la información sobre el avance en la implementación de energía geotérmica en los proyectos del Parque Nacional Natural de los Nevados y Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro, pero manifestaron que la información actual estaba en Internet, la búsqueda permitió obtener resultados a 2014, encontrando que el proyecto Nereidas ya terminó la fase de factibilidad y está solo a la espera de los permisos ambientales para entrar en la fase de desarrollo, se espera que en el 2018, pueda iniciar esta fase.

El proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro, se encuentra en la fase de prefactibilidad, en la cual se realizan los estudios que permitan asegurar que el proyecto cumple con las condiciones técnicas, económicas y ambiental para el desarrollo de la fase de factibilidad. Los estudios se contrataron entre el 2010 y abril de 2011, entre Colombia y Ecuador, se espera obtener energía geotérmica en el 2018, puede ser un poco más tarde porque si el Nereidas que ya culminó la factibilidad, espera entrar en el 2018 a la fase de desarrollo y hay que tener en cuenta que no depende del acuerdo de dos voluntades.

Ninguno de los proyectos de Geotermia en Colombia, está en la fase de producción por lo que no se pudieron desarrollar indicadores de producción, de uso de la energía geotérmica o del impacto ambiental del uso de este tipo de energía, el proyecto con mayor nivel de avance es el de Las Nereidas (Caldas).

## 10. Recomendaciones

Se recomienda, que se mejore el acceso a la información frente a los proyectos geotérmicos, de forma tal que los investigadores encuentren un contacto físico (ingenieros, geólogos, entre otros), que puedan proveer información de primera mano, o permitir el acceso a las zonas de trabajo, de forma tal que se pueda levantar evidencias tales como fotografías para el logro de los objetivos. En este caso la falta de información, limitó el logro de uno de los objetivos.

Se recomienda a través de la UPME, se desarrolle la “Conformación de una mesa interinstitucional de trabajo para desarrollo de la energía geotérmica.” (UPME, 2016, p.56), que ya fue propuesta en el informe de gestión 2014-2015, pero que no se encontró que ya se haya conformado, para haber obtenido de esta mesa información de primera mano, que pudiera haber servido de insumo para este trabajo. Es más es la única actividad propuesta en torno a la geotermia, se han desarrollado proyectos en torno a la energía hidroeléctrica y fotovoltaica.

## Glosario

**Bomba de calor geotérmica:** Dispositivo o máquina que cede y absorbe calor del terreno a través de un conjunto enterrado de tuberías (sistema de intercambio), aprovechando la ventaja de la temperatura constante del interior de la Tierra. En modo calefacción, el calor es extraído del terreno y bombeado hacia las superficies radiantes del edificio; en modo refrigeración, el calor es extraído del edificio y disipado contra el terreno. (Agenbur, 2011)

**Conductividad Térmica del Terreno:** Es una característica propia de cada tipo de terreno e indica su capacidad para conducir el calor, se expresa en  $W/m^{\circ}C$  o  $W/mK$ . El cálculo de la conductividad térmica para el diseño de un sistema de bomba de calor geotérmica se puede estimar a partir de tablas, medir en laboratorio mediante pruebas de conductividad sobre parte de terreno recogido o determinar realizando un test de respuesta térmica del suelo (Thermal Response Test, TRT); este último método es el más fiable. (Agenbur, 2011)

**COP (Coeficiente de rendimiento):** Término empleado en las instalaciones de calefacción. Se define como la relación entre la energía útil (calor suministrado por la bomba de calor) y la energía consumida (energía necesaria para hacer funcionar el compresor). Así, un COP de 4 significa que por cada kWh de energía eléctrica consumida la bomba de calor es capaz de suministrar 4 kWh; por tanto, cuanto mayor es este coeficiente más ahorro energético se obtiene. (Agenbur, 2011)

**EER (Tasa de eficiencia energética):** Término utilizado en instalaciones de refrigeración. Se define como la relación entre la energía útil retirada por el evaporador (mediante la bomba de calor) y la energía eléctrica consumida por el compresor. Cuanto mayor sea el EER mayor será el ahorro y la eficiencia del sistema. (Agenbur, 2011)

**Geotermia:** Se define como la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra, dicha energía puede ser explotada por el hombre de diversas maneras dependiendo de la temperatura del yacimiento. (Agenbur, 2011)

**Recurso geotérmico:** Es aquella parte de la energía geotérmica que puede ser explotada y utilizada por el hombre. (Agenbur, 2011)

**Test respuesta térmica:** Es un método que permite conocer in-situ el valor de la conductividad térmica efectiva del terreno, así como la resistividad térmica. Se realiza normalmente sobre el primer sondeo geotérmico de un campo de captación geotérmica que deberá tener idénticas características a los demás sondeos. Consiste en aplicar una cantidad constante de calor en el subsuelo mediante resistencia eléctrica y a través del fluido caloportador a emplear durante 48-72 horas. Es un método fiable y es necesario para instalaciones de más de 30 kW de potencia. (Agenbur, 2011)

**Yacimiento geotérmico de muy baja temperatura:** Aquellos que no requieren gradientes geotérmicos elevados ni estructuras geológicas o condiciones hidrogeológicas particulares como los yacimientos de media y alta temperatura. La tecnología actual, a través de la bomba de calor, permite aprovechar el recurso geotérmico en medios con temperaturas comprendidas entre 10°C y 30°C. (Agenbur, 2011)

### **Bibliografía**

Agencia Provincial de la Energía de Burgos –Agenbur. (2011). Diccionario Geotérmico.

Recuperado de <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?iddoc=374>

Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report, (2015)

Ávila, C. (Sep. 10 de 2011). Sacarán energía de suelos volcánicos. UN Periódico No.

148. Recuperado de

<http://www.unperiodico.unal.edu.co/uploads/media/UNPeriodico148.pdf>.

Campos, T. (1988). Geothermal resources of El Salvador, Preliminary assessment.

Geothermics, Vol.17, p.319-332

Cardoso, R., Hamza V. & Alfaro, C. (2010). Geothermal Resource Base for South

America: A Continental Perspective. Proceedings World Geothermal Congress.

Bali, Indonesia, 25-29 April. [https://www.geothermal-](https://www.geothermal-energy.org/.../latin_america_gateway.ht...)

[energy.org/.../latin\\_america\\_gateway.ht...](https://www.geothermal-energy.org/.../latin_america_gateway.ht...)

Cernuschi, F. (2014). Energía geotérmica: potenciales aplicaciones para la diversificación de la matriz energética de Uruguay. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/profile/Federico\\_Cernuschi3/publication/2752129](https://www.researchgate.net/profile/Federico_Cernuschi3/publication/275212978_Energia_Geotrmica_Potenciales_Aplicaciones_Para_La_Diversificacin_De_La_Matriz_Energica_De_Uruguay_Geothermal_Energy_Potential_Applications_To_Diversify_The_Energy_Matrix_Of_Uruguay/links/556e674908aeccd7773f6e48.pdf)

[78\\_Energia\\_Geotrmica\\_Potenciales\\_Aplicaciones\\_Para\\_La\\_Diversificacin\\_De\\_](https://www.researchgate.net/profile/Federico_Cernuschi3/publication/275212978_Energia_Geotrmica_Potenciales_Aplicaciones_Para_La_Diversificacin_De_La_Matriz_Energica_De_Uruguay_Geothermal_Energy_Potential_Applications_To_Diversify_The_Energy_Matrix_Of_Uruguay/links/556e674908aeccd7773f6e48.pdf)

[La\\_Matriz\\_Energica\\_De\\_Uruguay\\_Geothermal\\_Energy\\_Potential\\_Application](https://www.researchgate.net/profile/Federico_Cernuschi3/publication/275212978_Energia_Geotrmica_Potenciales_Aplicaciones_Para_La_Diversificacin_De_La_Matriz_Energica_De_Uruguay_Geothermal_Energy_Potential_Applications_To_Diversify_The_Energy_Matrix_Of_Uruguay/links/556e674908aeccd7773f6e48.pdf)

[s\\_To\\_Diversify\\_The\\_Energy\\_Matrix\\_Of\\_Uruguay/links/556e674908aeccd7773](https://www.researchgate.net/profile/Federico_Cernuschi3/publication/275212978_Energia_Geotrmica_Potenciales_Aplicaciones_Para_La_Diversificacin_De_La_Matriz_Energica_De_Uruguay_Geothermal_Energy_Potential_Applications_To_Diversify_The_Energy_Matrix_Of_Uruguay/links/556e674908aeccd7773f6e48.pdf)

[f6e48.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Federico_Cernuschi3/publication/275212978_Energia_Geotrmica_Potenciales_Aplicaciones_Para_La_Diversificacin_De_La_Matriz_Energica_De_Uruguay_Geothermal_Energy_Potential_Applications_To_Diversify_The_Energy_Matrix_Of_Uruguay/links/556e674908aeccd7773f6e48.pdf)

Consejo Nacional de Energía, (2012). Energía Geotérmica. El Salvador. Recuperado de

[http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=115&](http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=196)

[Itemid=196](http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=196)

Consorcio energético CORPOEMA. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para

las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Vol. 1.

- Bogotá. Recuperado de [http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor\\_files/documents/Noticias/2010/Vol\\_1\\_Plan\\_Desarrollo.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/documents/Noticias/2010/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf)
- Coviello, F. (2000). Estudio para la Evaluación del Entorno del Proyecto Geotérmico Binacional “Tufiño-Chiles Cerro Negro”. División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL. Recuperado de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/6/5696/LCR1995-E.pdf>
- Cruz V. Vargas, V. & Cacya, L. (2013). Estudio medioambiental en la cuenca del río Colca. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, 2014-08). Recuperado de <http://es.calameo.com/read/0008201293d97089c4cce>
- Cruz, V. & Matsuda K. (s.f). Caracterización geoquímica de las fuentes termales en el campo geotermal de Calientes, Tacna. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.ingemmet.gob.pe:84/xmlui/bitstream/handle/123456789/103/Caracterizacion%20Geoquimica%20de%20las%20Fuentes%20Termales%20en%20Campo%20Geotermal%20de%20Calientes.pdf?sequence=1>
- Decreto 3683. *Diario Oficial* 45.409 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 22 de Diciembre de 2003.
- Decreto 2501. *Diario Oficial* 46.679 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 4 de Julio de 2007.
- Ecodes25. (2015). Marco Internacional: Protocolo de Kyoto. Recuperado de <http://ecodes.org/cambio-climatico-y-ecodes/marco-internacional-protocolo-de-kyoto>
- Ed. J. (2009). Impactos Asociados a las ERNC. *Energía Geotérmica*. Blog Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de <http://impactosrenovables.blogspot.com.co/>

- Empresa de Trasmisión Eléctrica (Etesa). (2009). Potencial Geotérmico. Panamá.  
Recuperado de <http://www.etsa.com.pa/estudios.php?act=geotermico>
- Esteve, N. (2011). Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica. Tesis de Grado. Universidad Javeriana. Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>
- Estrada, C. & Zapata, M. (2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia et Technica* Año X, No 25, Agosto UTP. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7229/4237>
- Faizal, M., Bouazza, A. & Singh, R. (2016), Heat transfer enhancement of geothermal energy piles. *Elsevier*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.065>
- Farietta J. K (2013): “Políticas públicas en Colombia de generación distribuida en nuevas fuentes energéticas: el caso de la geotermia y las zonas no interconectadas”. *Vía Inveniendi et Iudicandi*, vol. 8, No. 2, pp.150-182.  
Recuperado de [revistas.usta.edu.co/index.php/viei/article/download/1164/1397](http://revistas.usta.edu.co/index.php/viei/article/download/1164/1397)
- Foster, et al, (2006). La Iniciativa del Acuífero Guaraní para la Gestión Transfronteriza del Agua Subterránea. Recuperado de [siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE\\_Spanish\\_CP09.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_CP09.pdf)
- Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental – FUNSEAM. (2016). Principales conclusiones del World Energy Outlook 2016. Recuperado de [https://www.funseam.com/index.php?option=com\\_k2&id=200...lang...](https://www.funseam.com/index.php?option=com_k2&id=200...lang...)
- García, H. (2014). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. Fedesarrollo. Recuperado de



[www.fedesarrollo.org.co/.../WWF\\_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-c...](http://www.fedesarrollo.org.co/.../WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-c...)

Geotermia en Argentina. (s.f). Recuperado de <http://www.gustato.com/Energia/Geotermia2.html>

Hamza, Gomes & Ferreira (2005). *Status Report on Geothermal Energy Developments in Brazil*. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Recuperado de <http://www.revistaei.cl/2016/05/27/rasgos-e-impactos-ambientales-de-la-perforacion-geotermica-en-chile/http://www.revistaei.cl/2016/05/27/rasgos-e-impactos-ambientales-de-la-perforacion-geotermica-en-chile>

Hernández, R; Fernández, C & Baptista, M. (2006). Metodología de la Investigación. 4<sup>a</sup> Ed. México. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/0B7qpQvDV3vxvWFk3YkltMTJxb3M/edit>

Hildigunnur H. Thorsteinsson, J. Tester. W. (2009). Barriers and enabler stogeo termal distric the a ting system development in the United States. *Elsevier*. Recuperado de: doi:10.1016/j.enpol.2009.10.025

Ingemmet (2014). Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la región Moquegua. Boletín serie C: geo dinámica e ingeniería geológica No. 58.

Jialing, Z., Kaiyong, H., Xinli, L., Xiaoxue, H., Ketao, L. & Xiujie W. (2015). A review of geothermal energy resources, development, and applications in China: Current status and prospects. *Elsevier*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.098>

Jiang, P, Xiaolu, L., Xu, R. & Zhang, F. (2015). Heat extraction of novel underground well pattern systems for geothermal energy exploitation.*Elsevier*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.062>

Ley 99.*Diario Oficial* 41.146 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 11 de Julio de 1993

Ley 142.*Diario Oficial* 41.433 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 22 de Diciembre de 1994

Ley 143.*Diario Oficial* 41.434 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 12 de Julio de 1994

Ley 508.*Diario Oficial* 43.651 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 30 de Julio de 1999

Ley 697.*Diario Oficial* 44.573 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 5 de Octubre de 2001

Ley 788.*Diario Oficial* 45.046 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 27 de Diciembre de 2002

Ley 1665.*Diario Oficial* 48.853 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 16 de Julio de 2013.

Ley 1715.*Diario Oficial* 49.150 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 13 de Mayo de 2014

Marzolf. N. (2014). Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo Convenio ISAGEN – BID/JC. Colombia. Recuperado de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>

Mejía, N. (2013). Metodología para medir el impacto ambiental por aprovechamiento de energía geotérmica. Manizales. Recuperado de [ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/.../Mejia\\_Nariño\\_Nestor\\_2013.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/.../Mejia_Nariño_Nestor_2013.pdf)

- Ministerio de energía y minas, dirección general de energía departamento de energías renovables. (2015). *Recursos geotérmicos de Guatemala*. Recuperado de [www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/.../Catalogo-final...versión-DER-12032015.pdf](http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/.../Catalogo-final...versión-DER-12032015.pdf)
- Nakomcic, B., Dvornic, T., Cepic, Z y Dragutinovic, N. (2016). Analysis and possible geothermal energy utilization in a municipality of Panonian Basin of Serbia. *El Sevier*. 1364-0321/& 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.337>
- Organización Internacional del Trabajo -OIT (1989) Convenio No. 169. Recuperado de [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_norm/@normes/documents/publication/wcms\\_100910.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_norm/@normes/documents/publication/wcms_100910.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas – ONU. (1972). **Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo**. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- ONU- (1998) Protocolo de Kioto. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (2013) El mercado de los servicios asociados a la Geotermia. Recuperado de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno13/geotermia/Introduccion.htm>
- Porras, C. (2010). *Mecanismo de desarrollo limpio aplicado a la generación de energía eléctrica con la utilización de energía geotérmica de baja entalpia en campos de producción petrolera de Apiay, Suria y Campo Castilla (Departamento del Meta, Colombia)*. (Tesis de maestría) Universidad de la Sabana. Recuperado de <http://intellectum.unisabana.edu.co/bistream/handle/10818/7482/124058.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Portabella, I. 2010. Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red. Tesis de grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10756/PFC%20Ixtebe%20Portabella%2020100830.pdf>
- Ramos, C. (2016). Análisis costo-beneficio de la implementación de las energías renovables no convencionales en la industria química. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14973/3/RamosMoraCesarLeonardo2016.pdf>
- Resolución 520. *Diario Oficial* 46.778 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 11 de Octubre de 2007
- Resolución 638. *Diario Oficial* 46.841 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 13 de Diciembre de 2007
- Resolución 186. *Diario Oficial* 48.358 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 29 de Febrero de 2012
- Resolución 045. *Diario Oficial* 49.851 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 21 de Abril de 2016
- Resolución 1283. *Diario Oficial* 49.976 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 25 de Agosto de 2016
- Salazar, G. (2013). Geotermia en los países de la Región Andina. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Recuperado de [https://www.geothermal-energy.org/publications\\_and\\_services/latin\\_america\\_gateway.html?no\\_cache=1&cid=1069&did=786&sechash=e660dca0](https://www.geothermal-energy.org/publications_and_services/latin_america_gateway.html?no_cache=1&cid=1069&did=786&sechash=e660dca0).

- Sánchez, E. (2014). Desarrollo Geotérmico en Costa Rica. Geothermal Energy Workshop Salta. Recuperado de [alcu.net.eu/dms-files.php?action=doc&id=687](http://alcu.net.eu/dms-files.php?action=doc&id=687)
- Santamarta, J. (2013). Ecuador quiere generar energía geotérmica. Reve, junio. Recuperado de <https://www.evwind.com/2013/06/02/ecuador-quiere-generar-energia-geotermica-por-jose-santamarta/>
- Sanz, D. (2011). Canadá podría obtener toda su electricidad de la energía geotérmica. Recuperado de <https://energiasrenovadas.com/canada-podria-obtener-toda-su-electricidad-de-la-energia-geotermica/>
- Stauffacher, M., Muggli, N., Scolobig, A. & Moser, C. (2015). Framing deep geothermal energy in mass media: the case of Switzerland. *El Sevier*. Volume 98, September 2015, Pages 60–70. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.05.018>
- Tendencias21. (2017). Nuevas investigaciones impulsan la energía geotérmica en Estados-Unidos (Junio 19) Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Nuevas-investigaciones-impulsan-la-energia-geotermica-en-Estados-Unidos\\_a6994.html](http://www.tendencias21.net/Nuevas-investigaciones-impulsan-la-energia-geotermica-en-Estados-Unidos_a6994.html)
- Tinti, F. et al (2016), How to boost shallow geothermal energy exploitation in the adriatic area: the LEGEND project experience. . *Elsevier*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.041>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2003). Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Utilización de la energía geotérmica documento descriptivo. Bogotá. Recuperado de [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/material\\_difusion/UTILIZACION\\_DE\\_LA\\_ENERGIA\\_GEOTERMICA\\_DOCUMENTO\\_DESCRIPTIVO.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/material_difusion/UTILIZACION_DE_LA_ENERGIA_GEOTERMICA_DOCUMENTO_DESCRIPTIVO.pdf)

UPME, (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.

Recuperado de

[http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INT\\_EGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INT_EGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

UPME, (2015). Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2014 – 2028.

Recuperado de

[http://www.upme.gov.co/Docs/Plan\\_Expansion/2015/Plan\\_GT\\_2014-2028.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2015/Plan_GT_2014-2028.pdf)

UPME, (2016). Resolución 045. Bogotá, Colombia. Recuperado de

<http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/secciones-de-interes/resoluciones/res-045-febrero-2016>.

UPME, (2016). Nota Técnica # 6: Proyección de Demanda de Energía Eléctrica y

Potencia Máxima en Colombia Revisión Enero. Recuperado de

[http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME\\_Nota\\_Tecnica\\_Demanda\\_Energia\\_Electrica\\_Enero\\_2016.pdf](http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Nota_Tecnica_Demanda_Energia_Electrica_Enero_2016.pdf)

UPME, (2016) Plan de Expansión 2015-2029. Recuperado de

[http://www.upme.gov.co/Docs/Plan\\_Expansion/2016/Plan\\_Expansion\\_GT\\_2015-2029/Plan\\_GT\\_2015-2029\\_VF\\_22-12-2015.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_Expansion_GT_2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf)

Vega, E. J. (2014). Modelo geológico del Valle de las Nereidas. Tesis de grado.

Universidad de Caldas. PDF

Velasco & Peñaranda. (2011). Generación de energía eléctrica a partir de vapor del

pozo geotérmico *Apache AP-XI*. *Metalurgia* No. 30. Recuperado de <http://www.revistas.bolivinas.org.bo>

Villalobos, 2016. Energía geotérmica: El gran potencial que tiene nuestro país aún sin

explotar. Emol.com – Recuperado de

<http://www.emol.com/noticias/Economia/2016/09/29/823995/Chile-tiene-un-gran-potencial-para-explotar-la-energia-geotermica.html>

Zare, V. (2016). A comparative thermodynamic analysis of two tri-generation systems utilizing low-grade geothermal energy. *Elsevier*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.011>

**Anexo A.**

Modelo de Carta

Manizales, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2016

Doctor(a)

\_\_\_\_\_

Director (a)/ Gerente

ISAGEN

Manizales

Asunto: solicitud autorización proceso investigativo sobre energía geotérmica.

En nuestra calidad de estudiantes de Ingeniería ambiental de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, estamos desarrollando para la tesis de grado la propuesta de investigación “ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA”. Este estudio obedece a una prioridad nacional derivada de la necesidad de desarrollar fuentes alternativas de energía, que sean de bajo impacto ambiental. El acompañamiento de este proceso investigativo estará a cargo del Ingeniero DIEGO ALEJANDRO PÉREZ, experto en el tema y docente de la UNAD, Dosquebradas.

Objetivo general: Analizar el estado actual de la explotación de energía geotérmica en Colombia.

Con la presente estamos solicitando a usted como representante de la institución, la autorización para aplicar una entrevista estructurada a los funcionarios que posean información sobre el tema, según su conocimiento de la empresa y del interés investigativo nuestro.



Espero su valiosa colaboración.

Atentamente:

GERALDYN ARIAS MARÍN

Estudiante - Investigadora

ANA MARÍA ACEVEDO SÁNCHEZ

Estudiante - Investigadora

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA –UNAD-