

**PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UN PROGRAMA DE MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA: APLICACIÓN A LA ESCUELA  
DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

**SAMUEL FRANCISCO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

**KATTY PAOLA REYES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2017**

**PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UN PROGRAMA DE MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA: APLICACIÓN A LA ESCUELA  
DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

**SAMUEL FRANCISCO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

**KATTY PAOLA REYES**

**Trabajo de Grado para optar por el Título de Ingeniero de Petróleos**

**Director:**

**WILSON RAUL CARREÑO VELASCO**

**Máster en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2017**

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mi mami, mi vieja querida, guerrera incansable, soporte de mis hermanos y mía en especial, gracias madre por siempre creer en tu hija...*

*A mi familia, gracias por ser mi roca, mi mayor motivación, mis pies en la tierra. Mis ganas de servirles hoy me tienen donde estoy y me guían para donde voy.*

*A los profesores que en algún momento me dedicaron algunos consejos que sirvieron para aclarar un poco el camino: Nora Llinás, Dubis Maestre, Yelithza Aramendiz, Ever Ordoñez, Yazmin Royero, Germán González, Erik Montes, Nicolás Santos y por último a mi director, Wilson Carreño, por creer en nosotros, por confiar siempre en este proyecto...*

*A mis amigos, los de las mil batallas, los de los regaños y consejos, los de siempre: Eduardo Gómez, Fabio Tarazona, Juan Camilo Molano, Pipe Leal, Nicolás Téllez, Verónica Barrera, Jose, Gabriel y Jaime; a Andrés, Genghini, Alejo, Lina, a mis parceras, Sonia, Mary y Yeny. Sin ellos todo este camino no habría sido tan divertido.*

*A Lorena Daza, Rodrigo Sierra, Eduardo Mendiola y David Viña, mis raíces...*

*Al equipo ACEIP, por sacarme las mejores canas; Diego, Vanessa, Rossio, David, Carlitos, Camila, Majo, Male, Brayhan, Lina, Julián, Johan y Henry.*

*A Samuel Martínez, el mejor compañero de tesis que Dios me permitió tener, gracias por cada momento de risas, de reflexión, de sueños y de complicidad durante este tiempo.*

*Gracias...*

**Katty Paola Reyes**

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

*La vida ha conspirado para que me fuera posible terminar con éxito mi proyecto de grado, y así cumplir mi anhelado sueño de titularme como Ingeniero UIS.*

*Por esto quiero permitirme dedicar este humilde pero importante y luchado logro, con todas las fuerzas de mi corazón y alma:*

*A la vida, porque a pesar de todos los altos y bajos, es hermosa.*

*A mi hija Alicia Martínez, mi alma gemela y genuina razón de mi existencia.*

*A mis padres Cleo Hernández y Samuel Martínez, por ser mi ejemplo y apoyo incondicional en todos los momentos importantes de mi vida.*

*A mis hermanos Álvaro Martínez y Dany Martínez, quienes han estado presente toda mi vida, defendiendo a su hermano menor desde tiempos inmemorables.*

*A la mejor compañera de tesis que alguien podría tener, Katty Reyes, por ser una excelente amiga, cómplice, confidente, colega y sobre todo una de las personas que más admiro en el mundo. Eres una guerrera.*

*Finalmente quiero agradecer a Wilson Carreño, por su acompañamiento y amistad durante este viaje hacia un tema algo desconocido para todos, pero con mucho aprendizaje en el camino.*

**Samuel Martínez**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. GENERALIDADES .....	15
1.1 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.....	15
1.1.1 Misión .....	15
1.1.2 Visión .....	15
1.1.3 Objetivos .....	16
1.2 ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS .....	17
1.2.1 Misión .....	17
1.2.2 Visión .....	18
1.2.3 Programas ofertados por la Escuela de Ingeniería de Petróleos .....	18
1.3 MARCO LEGAL PARA LA CREACIÓN DE PROGRAMAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR .....	20
1.3.1 Generalidades sobre registro calificado .....	20
1.3.2 Condiciones para obtención del registro calificado .....	20
1.3.3 Registro calificado de los programas de posgrado.....	23
2. EDUCACIÓN EN ENERGÍA GEOTÉRMICA A NIVEL INTERNACIONAL .....	26
3. ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	37
3.1 GENERALIDADES .....	37
3.1.2 Los sistemas geotérmicos.....	39
3.1.4 Beneficios de la energía geotérmica .....	43
3.1.5 Etapas de desarrollo de un proyecto geotérmico.....	45
3.1.6 Transferencia de tecnología entre la industria petrolera y la geotérmica.....	47
3.2 ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	48
3.2.1 Desarrollo de la geotérmica a nivel mundial.....	48
3.2.2 Desarrollo de la geotérmica en Colombia.....	52
3.3 PROSPECTIVA DE LA GEOTERMIA EN COLOMBIA .....	60
3.3.1 Estrategias para desarrollar fuentes de energía renovable no convencionales:.....	60
3.3.2 Retos y barreras para el desarrollo de la geotermia .....	65
3.3.3 Estrategias para el desarrollo de la geotermia.....	69

3.3.4 Comportamiento proyectado de la explotación geotérmica.....	71
4. ASPECTOS ACADÉMICOS Y ADMINISTRATIVOS DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA GEOTÉRMICA.....	74
4.1 DIAGNÓSTICO DE CAPACIDADES INTERNAS .....	74
4.1.1 Bienestar universitario .....	75
4.1.2 Planta profesoral.....	75
4.1.3 Recursos académicos .....	76
4.1.4 Recursos de investigación .....	78
4.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROGRAMA .....	80
4.2.1 Nombre del programa .....	80
4.2.2 Título que otorga .....	80
4.2.3 Modalidad .....	80
4.2.4 Lugar donde se ofrecerá el programa.....	81
4.2.5 Duración del programa.....	81
4.2.6 Sistemas de selección, promoción, permanencia y evaluación de estudiantes .....	81
4.2.7 Perfil del aspirante.....	82
4.2.8 Perfil profesional .....	82
4.2.9 Número de créditos .....	83
4.2.10 Ficha técnica del programa de maestría .....	83
4.3 PROPUESTA CURRICULAR .....	84
4.3.1 Objetivos del programa .....	84
4.3.2 Fundamentación teórica (áreas de énfasis propuestas) .....	84
4.3.3 Organización curricular y plan de estudios .....	86
4.3.4 Proyecto de grado.....	88
4.4 ESTRUCTURA INVESTIGATIVA.....	89
4.5 ESTRUCTURA ACADÉMICO ADMINISTRATIVA.....	89
4.6 RETOS Y BARRERAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.....	90
5. CONCLUSIONES .....	94
6. RECOMENDACIONES .....	95
BIBLIOGRAFÍA .....	96

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Cinturon de Fuego del Pacífico .....	39
Figura 2. Representación esquemática de un sistema geotérmico ideal .....	40
Figura 3. Diagrama de la tecnología flash .....	42
Figura 4. Diagrama de la tecnología binaria.....	43
Figura 5. Comportamiento de costos y niveles de riesgos para la energía geotérmica.....	46
Figura 6. Explotación y producción nacional de recursos energéticos primarios en el año 2012.....	52
Figura 7. Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012.....	53
Figura 8. Capacidad de generación eléctrica del sistema interconectado nacional a diciembre de 2014.....	54
Figura 9. Barreras identificadas para el desarrollo de la ingeniería geotérmica .....	68
Figura 10. Capacidad instalada de distintas fuentes de energía en 2014 .....	73
Figura 11. Proyecciones de generación geotérmica hasta el 2030.....	73
Figura 12. Pronóstico de generación geotérmica hasta el 2030.....	74
Figura 13. Estructura organizacional de la Escuela de Ingeniería de Petróleos .....	91
Figura 14. Retos que enfrenta la creación del programa de maestría .....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Programa de maestría en the University of Auckland .....	30
Tabla 2. Programa de maestría en Clausthal University of Technology.....	31
Tabla 3. Programa de maestría en Stanford University .....	32
Tabla 4. Programa de maestría en Chalmers University of Technology & University of Iceland ....	33
Tabla 5. Programa de maestría en University of Iceland .....	34
Tabla 6. Programa de maestría en Reykjavík University.....	35
Tabla 7. Programa de maestría en Université de Neuchâtel .....	36
Tabla 8. Programa de maestría en Dedan Kimathi University of Technology .....	37
Tabla 9. Clasificación de los sistemas geotérmicos .....	41
Tabla 10. Fases de desarrollo de un proyecto geotérmico .....	47
Tabla 11. Indicadores de energía geotérmica en los últimos años .....	51
Tabla 12. Cinco países líderes a nivel mundial en desarrollo de energía geotérmica .....	52
Tabla 13. Proyecciones de la energía renovable de 1996-2000 vs. Desarrollo real del mercado .....	58
Tabla 14: Objetivos de la Ley 1715 de 2014 .....	61
Tabla 15: Instrumentos de carácter económico dispuestos por la ley 1715 de 2014 .....	62
Tabla 16: Instrumentos de carácter normativo dispuestos por la ley 1715 de 2014 .....	64
Tabla 17: Otros instrumentos dispuestos por la ley 1715 de 2014 .....	65
Tabla 18: Barreras identificadas para el desarrollo de la ingeniería geotérmica .....	67
Tabla 19: Calificación cuantitativa de cada aspecto evaluado .....	68
Tabla 20: Cuerpo docente Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS.....	77
Tabla 21: Grupos de investigación de la UIS con temas afines a la Maestría en Ingeniería Geotérmica .....	80
Tabla 22: Criterios para la evaluación de aspirantes a programas de maestría en la UIS.....	82
Tabla 23: Ficha técnica del programa de maestría.....	84
Tabla 24: Paralelo de áreas de acción: Clausthal University of Technology y Dedan Kimathi University of Technology .....	86
Tabla 25: Áreas de estudio propuestas para la Maestría en Ingeniería Geotérmica en la UIS .....	87
Tabla 26: Plan de estudios para la maestría en ingeniería geotérmica en la uis .....	87
Tabla 27: Criterios de calificación cuantitativa de cada aspecto evaluado .....	91
Tabla 28: Retos que enfrenta la creación del programa de maestría.....	91

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1: Ley 1715 de 2014

Anexo 2: Ley 1715 de 2014

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UN PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA: APLICACIÓN A LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER\*

**AUTORES:** SAMUEL FRANCISCO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ.,  
KATTY PAOLA REYES \*\*

**Palabras claves:** Energía geotérmica, geotermia, industria de los hidrocarburos, energías renovables, energías sostenibles, educación en energía.

Los recursos geotérmicos son una de las fuentes de energía renovable con mayores virtudes, ya que permiten la generación de energía constante, libre de emisiones contaminantes e independiente de las variaciones meteorológicas o estacionales. En Colombia, existe un potencial geotérmico real y un creciente interés por la incorporación de estos recursos dentro del portafolio energético nacional; sin embargo, el país cuenta con una capacidad técnica y científica limitada para el desarrollo de éste recurso.

El presente proyecto anticipa una respuesta a las crecientes necesidades de espacios de formación académica e investigación en el área de la energía geotérmica, proponiendo la creación de un programa para la capacitación de recurso humano que responda a los intereses del país, reconociendo que la ciencia, la tecnología y la innovación son la guía para el desarrollo de éste.

En primera instancia se presenta un estudio de las generalidades pertinentes y los requisitos legales para la implementación de programas de posgrado a nivel de maestría en Colombia; conjuntamente, se hizo un estudio comparativo de las oportunidades de formación académica a nivel de maestría en el área de geotérmica a nivel mundial. Adicionalmente, se estudian las oportunidades de transferencia de tecnología entre la industria geotérmica y la industria de los hidrocarburos, así como el estado actual de la industria geotérmica en Colombia. Con la información recopilada se diseñó la estructura académica, administrativa y de investigación de un nuevo programa de maestría con los estándares de calidad ilustrados por las instituciones que ofrecen las mejores prácticas en el área.

Finalmente, se identificaron los retos y se estudió la viabilidad de la legalización y creación del programa diseñado dentro de la oferta académica de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la Universidad Industrial de Santander.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Wilson Raul Carreño Velasco. Máster en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos.

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSAL FOR THE CREATION OF THE FIRST MASTER PROGRAM OF GEOTHERMAL ENGINEERING IN COLOMBIA: CASE STUDY OF THE PETROLEUM ENGINEERING DEPARTMENT AT THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER\*

**AUTHORS:** SAMUEL FRANCISCO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ,  
KATTY PAOLA REYES \*\*

**Key words:** Geothermal energy, geothermic, hydrocarbon industry, oil and gas, renewable energy resources, sustainable energy resources, energy education.

Geothermal resources are one of the renewable energy resources with most positive sides, since they allow electricity generation at a constant rate, free of pollutants emission and independent of meteorological and seasonal changes. In Colombia, there is an important geothermal potential and a growing interest for the incorporation of these resources as part of the national energy grid. However, the country has a limited technical and scientific capacity for the development of these sources of energy.

This project anticipates a solution for the growing needs of educational and research opportunities in the area of geothermal energy, through the proposal for the creation of a master's degree as a mean of multiple opportunities for specialized training, orientated to the needs of the country; knowing that science, technology and innovation are the main drivers of development.

As a first step, a study of generalities and legal requirements for the implementation of master level postgraduate programs in Colombia is shown. Secondly, a comparative study was performed about the opportunities available worldwide for graduate education (master's degree) with a focus on geothermal. Also, a study of the opportunities for technology transfer between the geothermal and hydrocarbon industries, as well as the current state of the Colombian geothermal industry was done. With the compiled information, a new master program of geothermal engineering was designed including its academic, administrative and research structure, according to the quality standards shown by the institutions who perform the best practices in the area.

Finally, the challenges most likely to happen in a future process for the legalization and creation of the designed program as part of the academic portfolio of the School of Petroleum Engineering in the Universidad Industrial de Santander were identified.

---

\* Bachelor Thesis.

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering. Petroleum Engineering School. Director: Wilson Raul Carreño Velasco. Máster en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos.

## INTRODUCCIÓN

Un incremento en el consumo de energía impulsado por la continua expansión demográfica y desarrollo económico a nivel nacional y mundial desencadena una creciente preocupación en la comunidad y los gobiernos donde el sostenimiento energético es crítico.

En Colombia, un 80% de la generación de energía eléctrica está basada en hidroelectricidad y el 20% restante distribuido en otras fuentes como el gas natural y el carbón principalmente<sup>1</sup>. Los combustibles fósiles por su parte, además de que constituyen un recurso no renovable, presentan gran inestabilidad debido a los factores asociados a su obtención tales como fluctuaciones del precio del crudo, poca aceptación por parte de las comunidades y un alto impacto ambiental. Por otro lado, los recursos hidroeléctricos, a pesar de ser libres de emisiones de contaminantes y el carácter renovable de los mismos, también enfrentan dificultades como la gran vulnerabilidad que tienen frente a las variaciones meteorológicas y al hecho de que las zonas con mayor potencial en el país ya han sido explotadas.

Durante los últimos 30 años el uso de la geotermia para generación de energía se consolidó como una industria madura y competitiva a nivel mundial<sup>2</sup>, y a medida que ésta industria crece, las necesidades de educación y entrenamiento en el área de la geotermia incrementan. A su vez, en el contexto nacional, gracias a la privilegiada ubicación geográfica de Colombia, grandes expectativas para el desarrollo del potencial geotérmico surgen como posible solución para las crecientes dificultades energéticas.

El presente trabajo plantea la creación de espacios para la capacitación de recurso humano que responda a los intereses del país frente al inminente inicio de la explotación comercial de recursos geotérmicos. De este modo, aprovechando las grandes similitudes entre los retos y dificultades presentados por las industrias geotérmica y de hidrocarburos y la latente oportunidad de transferencia de tecnología entre estas dos áreas, se propone la creación de un programa del primer posgrado a nivel de maestría en Ingeniería Geotérmica en Colombia, dentro de la oferta académica de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la UIS.

---

<sup>1</sup> MARZOLF, N. "Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia". Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2014.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**1.1.1 Misión**<sup>3</sup> La Universidad Industrial de Santander es una organización que tiene como propósito la formación de personas de alta calidad ética, política y profesional; la generación y adecuación de conocimientos; la conservación y reinterpretación de la cultura y la participación activa liderando procesos de cambio por el progreso y mejor calidad de vida de la comunidad.

Orientan su misión los principios democráticos, la reflexión crítica, el ejercicio libre de la cátedra, el trabajo interdisciplinario y la relación con el mundo externo.

Sustenta su trabajo en las cualidades humanas de las personas que la integran, en la capacidad laboral de sus empleados, en la excelencia académica de sus profesores y en el compromiso de la comunidad universitaria con los propósitos institucionales y la construcción de una cultura de vida.

**1.1.2 Visión**<sup>4</sup> Como visión general en el año 2018, la Universidad Industrial de Santander se habrá fortalecido en su carácter público, aportando al desarrollo político, cultural, social y económico del país, como resultado de un proceso de generación y adecuación de conocimiento en el cual la investigación constituye el eje articulador de sus funciones misionales.

La Universidad habrá desarrollado exitosamente una política de crecimiento vertical, mediante la cual se crearán y consolidarán programas de maestría y doctorado de alta calidad, sustentados en procesos de investigación pertinente para la región y el país.

La Institución habrá contribuido al desarrollo regional, mediante la formación del talento humano, la investigación y la extensión, reflejado en el mejoramiento de la calidad de vida, la competitividad internacional y el crecimiento económico. Como parte de este proceso, se ampliará la cobertura con la creación y consolidación de programas misionales pertinentes y soportes estratégicos en su sede central y en sus sedes regionales tanto a nivel profesional

---

<sup>3</sup> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Plan de Desarrollo Institucional 2008- 2018. Disponible en: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/rectoria/documentos/planDesarrollo.pdf>.

<sup>4</sup> *Ibíd.*

como a nivel tecnológico, atendiendo a la política de formación por ciclos aprobada por el Consejo Superior.

La Universidad habrá consolidado una política de articulación global que le ha permitido incrementar de manera significativa los resultados de sus procesos misionales mediante la cooperación con instituciones educativas y de investigación de alto prestigio, empresas, entidades gubernamentales, egresados y otros entes públicos y privados nacionales e internacionales.

La Universidad habrá fortalecido en toda su organización una cultura de gestión de alta calidad de los procesos misionales, estratégicos y de apoyo. Como resultado de la actualización permanente de sus programas académicos, la Universidad forma personas con las competencias apropiadas para liderar el desarrollo económico y social y para realizar proyectos educativos e investigativos, que contribuyan al logro de las metas de desarrollo del país y a la consolidación de una sociedad del conocimiento a nivel regional, nacional e internacional.

La institución habrá consolidado su estabilidad financiera y modernizado su infraestructura física y tecnológica.

**1.1.3 Objetivos<sup>5</sup>** Los principios representan valores de acuerdo con los cuales se interpreta y aplica el Estatuto General de la Universidad y por lo tanto constituyen elementos orientadores fundamentales en la regulación de la vida y la labor universitaria en todos sus ámbitos y propósitos.

En este sentido, en correspondencia con sus objetivos, la Universidad:

- Forma ciudadanos libres y responsables, conscientes y comprometidos con los valores democráticos, la tolerancia de la diversidad, los deberes civiles y los derechos humanos.
- Estudia y promueve el patrimonio cultural de la humanidad, atendiendo a su diversidad étnica, histórica, regional e ideológica, para contribuir a su conservación y enriquecimiento.
- Asimila críticamente y crea conocimientos en los campos de acción de las ciencias, la tecnología, la técnica, las humanidades, el arte y la filosofía.

---

<sup>5</sup> Op. Cit. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Plan de Desarrollo Institucional 2008- 2018. Disponible en: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/rectoria/documentos/planDesarrollo.pdf>.

- Forma profesionales e investigadores sobre una base científica, ética y humanística, permitiéndoles desarrollar conciencia crítica y criterios personales, para actuar responsablemente ante la sociedad, y para aportar su concurso frente a los requerimientos y tendencias del mundo contemporáneo, especialmente en lo que tiene que ver con los problemas y el desarrollo regional y nacional.
- Fomenta la educación, la investigación y la cultura ecológica, para contribuir a la preservación y mejoramiento de la calidad del medio ambiente.
- Promueve el desarrollo de la comunidad académica nacional, propicia su vinculación con el sector productivo, los organismos del estado y la comunidad del país y fomenta su articulación con sus homólogos a nivel nacional e internacional.
- Participa en la atención de las necesidades de la comunidad con programas de capacitación, asesoría, consultoría, interventoría, suministro de bienes y servicios.
- Suscribe convenios o contratos con otros sectores estratégicos del aparato productivo, en desarrollo de las funciones misionales, de docencia, investigación y de extensión o de proyección social de la Universidad. En este contexto se inscriben la exploración, explotación y prestación de servicios afines al aprovechamiento de recursos naturales, renovables y no renovables, especialmente de los hidrocarburos y sus derivados y el suministro de bienes o servicios institucionales.
- Promueve y participa en la generación y desarrollo de empresas de base tecnológica resultantes de actividades de investigación y extensión.

Así mismo, la universidad cumple funciones que constituyen los ejes de su vida académica y de su relación con la sociedad: la docencia, la investigación y la extensión, y se rige por los siguientes principios fundamentales: formación integral, investigación, vigencia social, flexibilidad e interdisciplinariedad, pedagogía dialógica, formación permanente.

## **1.2 ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**1.2.1 Misión<sup>6</sup>** Formar, dentro del espacio brindado por la academia y la investigación, profesionales con gran capacidad humana, científica y de gestión, que contribuyan a

---

<sup>6</sup> ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS. Acerca de la EIP. Disponible en: <http://petroleos.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp>.

solucionar los problemas técnicos y conceptuales de la industria de hidrocarburos, en armonía con el ecosistema y con responsabilidad ética y social.

**1.2.2 Visión<sup>7</sup>** La Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander busca consolidarse como líder en el contexto nacional y una de las de mayor trascendencia internacional, propiciando el mejoramiento continuo de la calidad mediante la implementación de contenidos actualizados en el plan de estudio de nuestro programa, para formar aptitudes técnicas, científicas, sociales, ecológicas y humanísticas en nuestros educandos, tanto a nivel de pregrado como de posgrado.

**1.2.3 Programas ofertados por la Escuela de Ingeniería de Petróleos<sup>8</sup>** Dentro de la amplia oferta académica de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la Universidad Industrial de Santander se encuentran los siguientes programas:

**1.2.3.1 Pregrado en Ingeniería de Petróleos** El programa de pregrado que se ofrece desde el año 1957 tiene una duración de diez semestres académicos y los ejes temáticos fundamentales son la exploración y explotación de hidrocarburos.

**1.2.3.2 Especialización en Gerencia de Hidrocarburos** Esta especialización permite la formación de gerentes y administradores en el sector de hidrocarburos, a partir del personal técnico, profesional que labora en la industria, poniéndolos al tanto de los nuevos esquemas de dirección y alta gerencia, que les permita asumir cuadros directivos en un menor tiempo y con más eficiencia dentro de su carrera laboral. Además, les facilita adaptar las organizaciones al cambio constante de las empresas de hoy.

**1.2.3.3 Especialización en Ingeniería del gas** Esta especialización permite formar especialistas en ingeniería del gas que estén en capacidad de diseñar, operar, planear, coordinar y evaluar, los proyectos y procesos necesarios para la optimización, administración y usos del gas para mejorar la producción mediante soluciones y programas

---

<sup>7</sup> *Ibíd.*

<sup>8</sup> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Programas académicos Escuela de Ingeniería de Petróleos. Disponible en: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/programasAcademicos/index.html>.

innovadores. Además, el especialista adquiere las herramientas para lograr la modernización y competitividad de su empresa y posicionarla en un mundo cada vez más exigente.

**1.2.3.4 Especialización en Producción de Hidrocarburos** Esta especialización permite formar Especialistas en Producción de Hidrocarburos en la Industria Petrolera Nacional e Internacional, líderes en los procesos de Optimización, Diseño y aplicación de Sistemas de Levantamiento, Recolección, Separación, Tratamiento, Almacenamiento y Despacho de hidrocarburos, con una visión de generación de valor al negocio, competitividad y enmarcado dentro de una conciencia ambiental.

**1.2.3.5 Maestría en Ingeniería de Hidrocarburos** La Maestría en Ingeniería de Hidrocarburos tiene como objeto de conocimiento el desarrollo, explotación, tratamiento, transporte y comercialización de hidrocarburos, que permita transferir y generar ciencia y tecnología, para el logro sostenible y eficiente de la industria de hidrocarburos del país.

**1.2.3.6 Maestría en Ingeniería de Petróleo y Gas** El programa de Maestría en Ingeniería de Petróleos y Gas, es el complemento en las diferentes áreas de formación que ofrece la Escuela de Ingeniería de Petróleos, contribuyendo con la generación de conocimiento, desarrollando un programa que le permitirá a los futuros magísteres aportar solución a los problemas que se presentan a diario en la industria de los hidrocarburos, dotándolos de habilidades y herramientas para mejorar y hacer más eficientes cada una de las diferentes operaciones de campo, mejorando la rentabilidad de los proyectos, permitiendo un mayor impacto social y económico en las regiones donde se concentra la industria.

El programa de Maestría en Ingeniería de Petróleos y Gas, ofrece cinco áreas a profundizar:

- Ingeniería de Gas y Procesos
- Ingeniería de Yacimientos
- Ingeniería de Producción de Hidrocarburos
- Ingeniería de Perforación y completamiento de Pozos
- Gerencia y Economía de los Hidrocarburos

### **1.3 MARCO LEGAL PARA LA CREACIÓN DE PROGRAMAS DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

El decreto 1295 del 20 de abril de 2010 reglamenta el registro calificado de que trata la Ley 1188 de 2008 y la oferta y desarrollo de programas académicos de educación superior.<sup>9</sup>

**1.3.1 Generalidades sobre registro calificado** Toda institución debe tener un registro calificado para ofertar programas de educación superior. Este registro calificado lo emitirá el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y tendrá una vigencia de 7 años a partir de su expedición. El no contar con dicho registro ocasiona la no validez de los títulos otorgados.

Está permitida la extensión de programas académicos, entendida como la ampliación de la oferta y desarrollo de un programa en un lugar distinto al que fue autorizado, siempre que se mantenga el contenido curricular y la organización de las actividades académicas; este proceso requiere registro calificado.

La solicitud de un registro calificado puede incluir dos o más municipios en los que se pretende ofertar el programa académico. Se deberá sustentar la relación geográfica, económica y social entre tales municipios, así como hacer explícitas las condiciones de calidad para el desarrollo del programa en los lugares que abarca la solicitud.

**1.3.2 Condiciones para obtención del registro calificado** Para la evaluación de las condiciones de calidad de los programas académicos, las instituciones de educación superior deben presentar información que permita verificar las siguientes particularidades:

- La denominación o nombre del programa, el título que otorga y la correspondencia con sus contenidos curriculares. Los programas de maestría y doctorado podrán adoptar la denominación genérica o específica de la disciplina o profesión a la que pertenecen o su índole interdisciplinar.
- Una justificación que sustente el contenido curricular del programa, los perfiles pretendidos y la metodología en que se desea ofrecer, con fundamento en un diagnóstico que contenga lo siguiente:

---

<sup>9</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. Decreto 1295 (20, abril, 2010). Por el cual se reglamenta el registro calificado de que trata la Ley 1188 de 2008 y la oferta y desarrollo de programas académicos de educación superior. Bogotá D.C.: El Ministerio de Educación Nacional, artículo 24. 12 p

- El estado de la educación en el área del programa y de la ocupación o profesión en los ámbitos nacional e internacional.
  - Las necesidades del país o de la región que puedan tener relación con el programa académico.
  - Explicación de los atributos o factores que constituyen los rasgos distintivos del programa.
- Los aspectos curriculares básicos del programa, se debe incluir:
    - Fundamentación teórica del programa.
    - Propósitos de formación del programa, competencias y perfiles definidos.
    - Plan general de estudios representado en créditos académicos.
    - Componente de interdisciplinariedad del programa.
    - Estrategias de flexibilización para el desarrollo del programa.
    - Lineamientos pedagógicos y didácticos adoptados en la institución según la metodología y modalidad del programa.
    - Contenido general de las actividades académicas.
    - Estrategias pedagógicas que apunten al desarrollo de competencias comunicativas en un segundo idioma en los programas de pregrado.
- La propuesta para la organización de las actividades académicas del programa como laboratorios, talleres, seminarios, etc., que guarde coherencia con sus componentes y metodologías para alcanzar sus metas de formación.
- La estructura de las actividades de investigación que permiten desarrollar una actitud crítica y una capacidad creativa para encontrar alternativas para el avance de la ciencia, la tecnología, las artes o las humanidades y del país. Debe incluir lo siguiente:
    - Estrategia de promoción de la formación investigativa de los estudiantes.
    - Procedimientos para la incorporación del uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la formación investigativa.
    - Políticas institucionales que garanticen la existencia de un ambiente de investigación, innovación o creación; organización del trabajo investigativo que incluya estrategias para incorporar los resultados de la investigación al quehacer formativo y medios para la difusión de los resultados de la investigación. Adicionalmente, la estrategia de evaluación de los productos de investigación en los programas de pregrado y posgrado, así como de los resultados de investigación obtenidos en proyectos con auspicio institucional para programas nuevos de maestría y doctorado. También se verificará la participación de estudiantes de maestría y doctorado en los grupos de

investigación o unidades de investigación del programa. Finalmente, se debe garantizar la disponibilidad de profesores con el perfil idóneo para el fomento de la investigación.

- La manera como los programas académicos esperan impactar en la sociedad, con indicación de los planes, medios y objetivos previstos para tal efecto; así como los resultados alcanzados en el caso de los programas en funcionamiento. Debe incluir por lo menos uno de los siguientes aspectos:
  - La estrategia de vinculación con el sector productivo.
  - El trabajo con la comunidad o la forma en que ella puede beneficiarse.
  - El impacto derivado de la formación de los graduados de programas en funcionamiento.
  - La generación de nuevos conocimientos derivados de la investigación.
  - El desarrollo de actividades de servicios sociales a la comunidad.
- Las características y calidades que sirven al fortalecimiento del personal docente, de acuerdo con los siguientes requerimientos y criterios:
  - La estructura y perfil de la planta docente actual o futura, basada en las necesidades del programa.
  - Plan de vinculación de docentes de acuerdo a la propuesta presentada, que incluya perfiles, funciones y tipo de vinculación.
  - Plan de formación docente que promueva el mejoramiento de la calidad de procesos de docencia, investigación y extensión.
  - Existencia y aplicación de un estatuto o reglamento docente.
- La disponibilidad y capacitación para el uso de por lo menos los siguientes medios educativos: recursos bibliográficos y de hemeroteca, bases de datos con licencia, equipos y aplicativos informáticos, sistemas de interconectividad, laboratorios físicos, escenarios de simulación virtual de experimentación y práctica, talleres con instrumentos y herramientas técnicas e insumos, según el programa y la demanda estudiantil real o potencial cuando se trate de programas nuevos.
- La institución debe garantizar una infraestructura física en aulas, biblioteca, auditorios, laboratorios y espacios para la enseñanza, el aprendizaje y el bienestar universitario de acuerdo a la naturaleza del programa.

Para la evaluación de las condiciones de calidad de las instituciones de educación, éstas deben presentar información que permita verificar el buen funcionamiento de los siguientes aspectos:

- Mecanismos de selección y evaluación de profesores y estudiantes sujeto a lo previsto por la constitución y la ley.
- La existencia de una estructura administrativa y académica que permitan ejecutar procesos de planeación, administración, evaluación y seguimiento de los contenidos curriculares, de las experiencias investigativas y de los diferentes servicios y recursos.
- La promoción de una cultura de autoevaluación que tenga en cuenta el diseño y aplicación de políticas que involucren los distintos miembros de la comunidad académica y pueda ser verificable a través de evidencias e indicadores de resultados.
- El desarrollo de una estrategia de seguimiento de corto y largo plazo a egresados que permita conocer y valorar su desempeño y el impacto social de los programas académicos.
- La organización de un modelo de bienestar universitario estructurado para facilitar la resolución de las necesidades insatisfechas en los términos de la ley y de acuerdo a los lineamientos adoptados por el Consejo Nacional de Educación Superior – CESU.
- La viabilidad financiera para la oferta y desarrollo del programa de acuerdo con su metodología, para lo cual debe presentar el estudio de factibilidad económica elaborado para tal efecto o el correspondiente plan de inversión cuando se trate de programas en funcionamiento.

Finalmente, el MEN fijará las características específicas de calidad de los programas académicos de educación superior con sujeción a lo establecido en las disposiciones legales vigentes, las que deberán ser observadas para la obtención o renovación del registro calificado.

### **1.3.3 Registro calificado de los programas de posgrado**

**1.3.3.1 Programas de posgrado** Los programas de posgrado corresponden al último nivel de la educación superior. Deben contribuir a fortalecer las bases de la capacidad del país para la generación, transferencia, apropiación y aplicación del conocimiento, así como a mantener vigentes el conocimiento ocupacional, disciplinar y profesional impartido en los programas de pregrado, deben constituirse en espacio de renovación y actualización metodológica y científica, responder a las necesidades de formación de comunidades científicas, académicas y a las necesidades del desarrollo y el bienestar social.

Los programas de posgrado tienen como objetivo propiciar la formación integral en un marco que implique el desarrollo de:

- Conocimientos más avanzados en los campos de la ciencia, la tecnología, las artes o las humanidades.
- Competencias para afrontar de forma crítica la historia, el desarrollo presente y la perspectiva futura de su ocupación, disciplina o profesión.
- Un sistema de valores fundamentado en la Constitución Política y la ley, en conceptos basados en el rigor científico y el espíritu crítico, en el respeto a la honestidad y la autonomía, reconociendo el aporte de los otros y la diversidad, ejerciendo un equilibrio entre la responsabilidad individual y la social y el compromiso implícito en el desarrollo de la disciplina, ocupación o profesión.
- La comprensión del ser humano, la naturaleza y la sociedad como destinatarios de sus esfuerzos, asumiendo las implicaciones sociales, institucionales, éticas, políticas y económicas de las acciones educativas y de investigación.
- La validación, la comunicación y la argumentación en el área específica de conocimiento acorde con la complejidad de cada nivel para divulgar los desarrollos de la ocupación, de la disciplina o propios de la formación profesional en la sociedad.

**1.3.3.2 Programas de maestría**<sup>10</sup> Los programas de maestría tienen como propósito ampliar y desarrollar los conocimientos para la solución de problemas disciplinares, interdisciplinarios o profesionales y dotar a la persona de los instrumentos básicos que la habilitan como investigador en un área específica de las ciencias o de las tecnologías o que le permitan profundizar teórica y conceptualmente en un campo de la filosofía, de las humanidades y de las artes. Los programas de maestría podrán ser de profundización o de investigación o abarcar las dos modalidades bajo un único registro.

Las modalidades se deberán diferenciar por el tipo de investigación a realizar, en la distribución de horas de trabajo con acompañamiento directo e independiente y en las actividades académicas a desarrollar por el estudiante.

La maestría de profundización busca el desarrollo avanzado de competencias que permitan la solución de problemas o el análisis de situaciones particulares de carácter disciplinar,

---

<sup>10</sup> Op. Cit. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Programas académicos Escuela de Ingeniería de Petróleos. Disponible en: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/programasAcademicos/index.html>.

interdisciplinario o profesional, por medio de la asimilación o apropiación de saberes, metodologías y, según el caso, desarrollos científicos, tecnológicos o artísticos. La maestría de investigación debe procurar el desarrollo de competencias científicas y una formación avanzada en investigación o creación que genere nuevos conocimientos, procesos tecnológicos u obras o interpretaciones artísticas de interés cultural, según el caso.

El trabajo de investigación de la primera podrá estar dirigido a la investigación aplicada, al estudio de caso, o la creación o interpretación documentada de una obra artística, según la naturaleza del programa. El de la segunda debe evidenciar las competencias científicas, disciplinares o creativas propias del investigador, del creador o del intérprete artístico.

## 2. EDUCACIÓN EN ENERGÍA GEOTÉRMICA A NIVEL INTERNACIONAL

Existe una demanda cada vez mayor de profesionales en el área de la energía geotérmica debido al crecimiento del sector a nivel mundial y una gran deficiencia de expertos en un amplio rango de especializaciones involucradas en esta industria<sup>1112</sup>.

En varios países europeos, algunas oportunidades de entrenamiento y capacitación en las áreas de exploración, explotación y utilización de los recursos geotérmicos se encuentran disponibles, sin embargo, estos espacios son insuficientes para suplir las necesidades de mano de obra altamente calificada en el sector; de hecho, muchos de los programas disponibles sólo incluyen módulos de corta duración y formación básica en Energía Geotérmica como parte de programas académicos en Geociencias, Recursos Geológicos, Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y de Procesos, Ingeniería Mecánica, Energías Renovables y otros<sup>13</sup>. No obstante, algunas universidades en Islandia, Suecia, Suiza y Alemania cuentan con programas completamente dedicados al estudio de la energía geotérmica.

En el caso de la industria geotérmica en Estados Unidos, su crecimiento constante ha impulsado la creación y fortalecimiento de programas académicos a nivel de pregrado y posgrado, enfocados en las áreas de plantas de energía geotérmica, geología, análisis de recursos, perforadores, ingenieros e instaladores de bombas de calor geotérmico<sup>14</sup>. Sin embargo, la mayoría de los programas ofrecidos constituyen formación básica a través de cursos de corta duración y módulos electivos enfocados en energía geotérmica como parte de programas de pregrado y posgrado en energías renovables, ingenierías, ciencias de la tierra y otras áreas afines; como consecuencia, son muy pocos los programas que ofrecen un enfoque especializado y la profundización que el desarrollo de esta industria emergente demanda.

Hasta hace pocos años en el continente africano, debido a la ausencia de oportunidades para entrenamiento y formación en geotermia, cerca del total de los profesionales en el sector se habían educado en instituciones de otros países; esto impulsó la creación de un instituto de entrenamiento en geotermia en la *Dedan Kimathi University of Technology* en Kenia<sup>15</sup>, con el fin de atender las necesidades de la industria en la región, a través de la formación de

---

<sup>11</sup> SPALEK, A., SCHÜTZ, F., BRUHN, D. “List of European universities offering training and education in the field of geothermal energy”, GEOELEC, 2013.

<sup>12</sup> HOLM, A. “Geothermal Education and Training Guide”, Geothermal Energy Association, 2011.

<sup>13</sup> *Ibíd.*

<sup>14</sup> *Idíd.*

<sup>15</sup> NICHOLAS O.M. “Status and Challenges in Training on Geothermal Energy in Africa”, Geothermal Energy Training & Research Institute, Dedan Kimathi University of Technology, Kenya, 2015.

personal altamente calificado en exploración, explotación y utilización de los recursos geotérmicos.

En Oceanía, Nueva Zelanda es el país líder en el desarrollo de tecnologías en el área de la energía geotérmica. Además de varias oportunidades de entrenamiento en el área, en forma de cursos, diplomados y módulos como parte de especializaciones y programas de maestría, existen algunas instituciones dedicadas netamente a temas de energía e ingeniería geotérmica como el Instituto de Geotermia adscrito a *The University of Auckland*, el cual ha sido promotor de nuevas tecnologías y ente de capacitación para profesionales de todas las regiones del mundo.

En Asia, Indonesia y Filipinas cuentan con un gran potencial de energía geotérmica e importantes proyectos de generación de electricidad a partir de este recurso; por su parte Japón también cuenta con considerables recursos que aún no han sido explotados, pero se espera jugarán un rol sustancial en la matriz energética del país en los próximos años gracias a cambios en su política energética, debidos a accidentes en plantas nucleares que soportaban parte de su abastecimiento energético<sup>16</sup>. En términos de educación y formación profesional, existen programas de pregrado de energía geotérmica en varios países de Asia, incluidos los antes mencionados, sin embargo, es notoria la insuficiencia de programas de posgrado especializados en el área, por lo cual el Programa de Entrenamiento en Geotérmica en la *United Nations University (UNU/GTP)*, ubicado en Islandia, ha jugado un papel importante en la capacitación de profesionales de este continente.

En Latinoamérica, México es el país con mayor producción absoluta de energía geotérmica, sin embargo, la electricidad producida a partir de este recurso representa un porcentaje muy pequeño dentro de su canasta energética, contrario a lo que ocurre en algunos países como El Salvador, Costa Rica y Nicaragua, donde la energía generada a partir de recursos geotérmicos representa una mayor fracción. También se espera que crezca la capacidad instalada en otras naciones de la región, tales como Guatemala, Chile y Colombia, entre otros<sup>17</sup>. En esta región, el entrenamiento de profesionales se ha dado mediante cursos y capacitaciones dictadas en centros de formación de áreas afines como la geología, la geofísica y la ingeniería, así como en programas ofrecidos en otros países. Actualmente algunos centros de investigación se han asociado a universidades para crear espacios de formación a nivel de posgrado y fomentar así el avance de proyectos para el desarrollo de la energía geotérmica en la región, como es el caso de Chile (Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes – CEGA; Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile), México

---

<sup>16</sup> AVTAR, R., KUMAR, P. "Geothermal Energy as a Major Source of Renewable Energy - Learning from Asian Neighbours", United Nations University, Institute for the Advanced Study of Sustainability, 2015.


<sup>17</sup> Op. Cit. MARZOLF, N. "Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia". Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2014.

(Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica - CeMIE-Geo; UMNSH, CICESE, UNAM, Universidad de Guadalajara e Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)), El Salvador (Consejo Nacional de Energía del Salvador – CNE; Universidad de El Salvador); sin embargo, no existen programas de maestría en esta región con enfoque total en energía geotérmica.

A continuación, se muestra una recopilación de algunos de los más reconocidos y completos programas de educación y entrenamiento a nivel de maestría en el área de energía geotérmica en el ámbito internacional, basados en su estructura académica, administrativa y de investigación.

Esta información fue obtenida principalmente de sus sitios web.

**Tabla 1. Programa de maestría en *The University of Auckland***

Maestría en Energías		
The University of Auckland		
	Facultad <b>Facultad de Ingeniería</b> Colaboradores: Facultad de Ciencias y Escuela de Negocios	
	Enfoques posibles <b>1. Energía Geotérmica</b> 2. Energía Eólica 3. Energía/Sostenibilidad y Medio Ambiente 4. Negocios/Economía/Gerencia	
	Duración <b>Dos semestres</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Inglés</b>
	Número de Créditos <b>120 o 180</b>	País <b>Nueva Zelanda</b>
Estructura Académica del Programa (Enfoque Energía Geotérmica)		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	Asignaturas Electivas
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proyecto de Investigación</li> <li>- Recursos Energéticos</li> <li>- Tecnologías de Energías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingeniería del Petróleo</li> <li>- Ingeniería Geotérmica y de Yacimientos</li> <li>- Recursos Geotérmicos y su Uso</li> <li>- Tecnologías de Energía Geotérmica</li> <li>- Exploración Geotérmica</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proyecto de Investigación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingeniería Geotérmica</li> <li>- Sistemas Hidrotermales: Energía Geotérmica y Depósitos Minerales</li> </ul>
<b>Áreas de Investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciencias de la Tierra y Geoterminia</li> <li>- Perfilado Electromagnético</li> <li>- Mapeo Geológica y Análisis Geoquímico</li> <li>- Redes de Monitoreo Micro-sísmico</li> <li>- Instrumentación Personalizada de Pozos</li> <li>- Sismología</li> <li>- Ingeniería Geotérmica</li> <li>- Ingeniería de Procesos Geotérmicos</li> <li>- Caracterización de Materiales</li> <li>- Análisis Económico</li> <li>- Análisis de Políticas Públicas</li> <li>- Análisis Medioambiental y Ecológico</li> </ul>		<b>Objetivos del Programa:</b> <p>Satisfacer las necesidades de expertos en las áreas del sector energético.</p> <p>Este programa interdisciplinario brinda tanto la formación introductoria para la industria como la exposición a los más recientes desarrollos en investigación y tecnologías en el área de energías, de modo que prepara a sus graduados para emprender una carrera profesional global, satisfactoria y sostenible.</p>
<b>Comentarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El programa es flexible al permitir la selección del énfasis de mayor interés para el estudiante.</li> <li>- The University of Auckland cuenta con el Instituto de Geoterminia, el cual es uno de los centros de investigación y entrenamiento más importantes en el tema a nivel mundial.</li> </ul>		


**Fuente:** THE UNIVERSITY OF AUCKLAND. Master of Energy. Disponible en: <http://www.engineering.auckland.ac.nz/en/for/futurepostgraduates/fp-study-options/fp-admission-for-masters/master-of-energy.html>

**Tabla 2. Programa de maestría en Clausthal University of Technology**

<b>Maestría Ingeniería Geotérmica</b>			
<b>Clausthal University of Technology</b>			
	Facultad <b>Instituto de Ingeniería del Petróleo</b>		
	Duración <b>Cuatro Semestres</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Inglés</b>	
	Número de Créditos <b>120</b>	País <b>Alemania</b>	
<b>Estructura Académica del Programa</b>			
Semestre	Asignaturas Obligatorias		
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Competencias Interculturales</li> <li>- Escritura Técnica</li> <li>- Mecánica de Fluidos</li> <li>- Geología de la Geotermia</li> <li>- Petrofísica</li> <li>- Principios de Geotérmica</li> <li>- Tecnologías Avanzadas de Perforación</li> <li>- Exploración Geotérmica de Superficie</li> </ul>		
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seminario de Tópicos Avanzados</li> <li>- Termodinámica Técnica II</li> <li>- Transferencia de Calor I</li> <li>- Registros de Pozos II</li> <li>- Ingeniería de Yacimientos Geotérmicos</li> <li>- Completamiento e Intervención</li> <li>- Usos de la Geotermia</li> <li>- Hidrogeología</li> </ul>		
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción Avanzada</li> <li>- Plantas de Energía Geotérmica</li> <li>- Uso Directo / Bombas de Calor</li> <li>- Gerencia de Proyectos de Energía</li> <li>- Legislación Energética</li> <li>- Fuentes de Energía Fósil y Renovable</li> <li>- Análisis de Presión</li> <li>- Tecnologías de Estimulación</li> </ul>		
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proyecto de Aplicación</li> <li>- Tesis de Maestría + Sustentación</li> </ul>		
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>Áreas de Investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologías de Perforación</li> <li>- Estabilidad de pozos</li> <li>- Daño a la Formación y Estimulación</li> <li>- Optimización de la Producción</li> <li>- Petrophysics</li> <li>- Simulación de Yacimientos</li> <li>- Software de Simulación</li> </ul> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>Objetivos del Programa:</b> <p>Brindar la formación necesaria para capacitar egresados con la capacidad de evaluar problemas complejos en los sistemas geotérmicos, con base en la sostenibilidad, y encontrar y aplicar soluciones a estos problemas.</p> <p>Los egresados de este programa serán capaces de desarrollar proyectos geotérmicos, incluyendo todos los aspectos desde la exploración del yacimiento geotérmica hasta su uso económico.</p> </td> </tr> </table>		<b>Áreas de Investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologías de Perforación</li> <li>- Estabilidad de pozos</li> <li>- Daño a la Formación y Estimulación</li> <li>- Optimización de la Producción</li> <li>- Petrophysics</li> <li>- Simulación de Yacimientos</li> <li>- Software de Simulación</li> </ul>	<b>Objetivos del Programa:</b> <p>Brindar la formación necesaria para capacitar egresados con la capacidad de evaluar problemas complejos en los sistemas geotérmicos, con base en la sostenibilidad, y encontrar y aplicar soluciones a estos problemas.</p> <p>Los egresados de este programa serán capaces de desarrollar proyectos geotérmicos, incluyendo todos los aspectos desde la exploración del yacimiento geotérmica hasta su uso económico.</p>
<b>Áreas de Investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologías de Perforación</li> <li>- Estabilidad de pozos</li> <li>- Daño a la Formación y Estimulación</li> <li>- Optimización de la Producción</li> <li>- Petrophysics</li> <li>- Simulación de Yacimientos</li> <li>- Software de Simulación</li> </ul>	<b>Objetivos del Programa:</b> <p>Brindar la formación necesaria para capacitar egresados con la capacidad de evaluar problemas complejos en los sistemas geotérmicos, con base en la sostenibilidad, y encontrar y aplicar soluciones a estos problemas.</p> <p>Los egresados de este programa serán capaces de desarrollar proyectos geotérmicos, incluyendo todos los aspectos desde la exploración del yacimiento geotérmica hasta su uso económico.</p>		
<b>Comentarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El foco de este programa es hacia el aspecto ingenieril de la producción de energía geotérmica, al tratarse de un programa dentro del instituto de ingeniería de petróleos.</li> <li>- Primer programa de maestría en ingeniería geotérmica que se dicta dentro de una escuela de ingeniería de petróleos.</li> <li>- Esta universidad tiene un convenio para que sus estudiantes cursen un semestre en Roma, donde mantengan exposición con la industria geotérmica.</li> </ul>			



**Fuente:** THE UNIVERSITY OF AUCKLAND. Master of Energy. Disponible en:  
<http://www.engineering.auckland.ac.nz/en/for/futurepostgraduates/fp-study-options/fp-admission-for-masters/master-of-energy.html>

**Tabla 3. Programa de maestría en *Stanford University***

Maestría en Ingeniería de Recursos Energéticos		
Stanford University		
	Facultad <b>Escuela de Ciencias de la Tierra, Energía y Ciencias Medioambientales</b>	
	Enfoques posibles: <b>1. Geotermia</b> 2. Energías Bajas en Carbono 3. Modelamiento de Recursos Naturales 4. Petróleo y Gas	
	Duración <b>Cuatro Semestres</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Inglés</b>
	Número de Créditos <b>45 Unidades (135 Créditos)</b>	País <b>Estados Unidos de America</b>
Estructura Académica del Programa		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	Asignaturas Electivas
1-4	<b>Núcleo Común</b> - Fundamentos de Flujo Multifásico - Caracterización de Yacimientos y Modelamiento de Flujo con Datos de Afloramiento - Algebra Lineal con Aplicaciones para Cálculos de Ingeniería - Ecuaciones Diferenciales Parciales en Ingeniería - Celdas Solares, Celdas de Combustible y Baterías: Materiales para la Solución Energética. - Fundamentos de Procesos Energéticos. - Energía a partir de Corrientes de Aire y Agua.  <b>Núcleo Especializado</b> - Simulación de Yacimientos - Ingeniería de Yacimientos Geotérmicos - Transporte de Masa y energía - Transferencia de Calor - Sistemas Energéticos I: Termodinámica	- Energía Sostenible para 9 mil millones - Fundamentos de Ingeniería de Petróleos - Análisis de Registros de Pozo - Seminario Energético - Eficiencia Energética en Edificaciones - Potencia Eléctrica: Renovables y Eficiencia - Introducción a los Métodos Numéricos para Ingeniería - Desarrollo de Software Avanzados para Científicos e Ingenieros - Economía Medioambiental - Economía de la Energía y de los Recursos Naturales - Ciencia Ingeniería y Tecnología a Nano-escala - Ciencia y Tecnología de las Celdas de Combustible - Sistemas Energéticos II: Modelado y Conceptos Básicos
<b>Áreas de Investigación:</b> - Petrofísica Especial para Yacimientos Geotérmicos - Modelado Especial para Procesos Geotérmicos - Sistemas Geotérmicos Mejorados - Flujo en Sistemas Vapor-Agua		<b>Objetivos del Programa:</b> Formar profesionales en energía capaces de iniciar una exitosa carrera profesional o carrera doctoral/docente.
<b>Comentarios:</b> - Esta universidad cuenta con un programa especializado para la maestría en cuestión, el cual cuenta con prestigio nacional, regional e internacional por su contribución al desarrollo de proyectos geotérmicos.		

**Fuente:** STANFORD UNIVERSITY. Energy Resources Engineering. Disponible en: <https://earth.stanford.edu/ere/graduate-program>

**Tabla 4. Programa de maestría en Chalmers University of Technology & University of Iceland**

Maestría en Ingeniería de la Innovación en Energías Sostenibles		
Doble Titulación: Chalmers University of Technology & University of Iceland		
  	Facultad - <b>Departamento de Energía y Medio Ambiente (CUT)</b> - <b>Facultad de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial y Ciencias de la Computación (UoI)</b>	
	Enfoques posibles 1. Bioenergías 2. Sistemas Energéticos <b>3. Energía Geotérmica</b> 4. Ingeniería de Energías y del Calor 5. Sistemas Materiales de Celdas Solares 6. Sistemas de Integración de la Energía Eólica	
	Duración <b>Cuatro Semestres</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Inglés</b>
	Número de Créditos <b>120</b>	País <b>Suecia e Islandia</b>
Estructura Académica del Programa – Enfoque Energía Geotérmica		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	Asignaturas Electivas
1	Chalmers University of Technology	- Dinámica Computacional de Fluidos - Flujo Multifásico - Transporte y Producción de Energías Sostenibles - Sistemas de Potencia Eléctrica Sostenibles - Tecnologías de Turbinas de Gas
2		- Evaluación e Ingeniería del Riesgo Ambiental - Flujo Compresible - Planeación y Modelado de Sistemas Energéticos - Dinámica Computaciones de Fluidos para Ingenieros - Tecnologías Avanzadas de Separación - Instrumentación de Políticas Ambientales
3	U. of Iceland	- Ingeniería de Sistemas de Potencia y Calor - Turbomáquinas - Sistemas de la Industria de Energías
4		- Hidrología de Aguas Subterráneas - Plantas de Energía Geotérmica - Perforación Geotérmica  - Corrosión - Modelado Dinámico de Sistemas - Optimización del Diseño
<b>Áreas de Investigación:</b> - Modelamiento de Yacimientos - Ciclos de Plantas Geotérmicas - Diseño y Optimización de Sistemas de Acumulación de Vapor		<b>Objetivos del Programa:</b> Estudiar los procesos de utilización de energía geotérmica para la generación de calor y electricidad.
<b>Comentarios:</b> - Dependiendo del Enfoque, se cursará cada año de la maestría en dos universidades de Suecia, Noruega y/o Islandia.		

**Fuente** NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. Joint Nordic Master's Degree Programme. Disponible en: <https://www.ntnu.edu/studies/msisee>

**Tabla 5. Programa de maestría en *University of Iceland***

Maestría en Geología		
University of Iceland		
	Facultad <b>Facultad de Ciencias de la Tierra</b>	
	Enfoques posibles: <b>1. Energías Renovables – Ciencias Geotérmicas</b> 2. Volcanología/ Petrología 3. Oceanografía 4. Geoquímica 5. Glaciología/Geología del Cuaternario	
	Duración <b>Dos años</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Islandés e Inglés</b>
	Número de Créditos <b>120</b>	País <b>Islandia</b>
Estructura Académica del Programa - Enfoque Energías Renovables – Ciencias Geotérmicas		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	Asignaturas Electivas
1	- Hidrología Subterránea - Introducción a Energía Renovable	- Seminario de Eventos Geológicos Actuales - Seminario de Ciencias de la Tierra - Geoquímica de la Superficie de la Tierra
2	- Proyecto en Grupo Interdisciplinario en Energía Renovable	- Tectónica - Inversión Geofísica - Exploración Geológica - Sismología
3	-Proyecto Final I	- Geoquímica de la Tierra Sólida - Magmas en la Corteza Terrestre
4	-Proyecto Final II	- Medidas y Modelos en Geodinámica - Ingeniería y Física de Yacimientos Geotérmicos
<b>Áreas de Investigación:</b> Principalmente la investigación sobre la naturaleza de un sistema geotérmico, para lo cual se requiere profundizar en áreas como:  - Naturaleza de la Roca - Propiedades de los Fluidos del Yacimiento - Procesos Químicos a Diferentes Temperaturas y Presiones - Composición Geológica de las Áreas Geotérmicas		<b>Objetivos del Programa:</b>  Dentro de los objetivos se encuentra reducir la emisión de gases de efecto invernadero en todo el mundo, contribuyendo a un aumento significativo en la producción y utilización de energía sostenible de fuentes geotérmicas.
<b>Comentarios:</b> - Esta maestría de dos años y 120 créditos permite realizar un año más (60 créditos adicionales) y obtener el PhD en Geología o en cualquier otra área de la Facultad de Ciencias de la Tierra con un total de 180 créditos. - University of Iceland cuenta con el Geothermal Research Group.		

**Fuente:** UNIVERSITY OF ICELAND. Geology MS. Disponible en:  
<https://ugla.hi.is/kennsluskra/index.php?tab=nam&chapter=namsleid&id=090615&kennslu ar=current>

**Tabla 6. Programa de maestría en Reykjavík University**

Maestría en Ingeniería de la Energía Sostenible		
Reykjavík University		
	Facultad: <b>Escuela de Energías de Islandia</b>	
	Enfoques posibles: <b>1. Ingeniería de Yacimientos Geotérmicos</b> 2. Ingeniería de Sistemas de Energía 3. Ingeniería del Funcionamiento y la Gestión 4. Termodinámica y Dinámica de Fluidos 5. Ingeniería Mecánica y Diseño	
	Duración: <b>18 meses</b>	Lenguaje de Instrucción: <b>Inglés</b>
	Número de Créditos: <b>120</b>	País: <b>Islandia</b>
Estructura Académica del Programa (Enfoque en Ingeniería de Yacimientos Geotérmicos)		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	Asignaturas Electivas
<b>0</b>	Salida de Campo Introdutoria (1mes)	
<b>1</b>	- Introducción a los Recursos Energéticos -Introducción a la Economía Energética -Evaluación del Impacto Ambiental	- Exploración Geotérmica del Subsuelo - Una Introducción a la Exploración de la Superficie para Recursos Geotérmicos - Ecuaciones Diferenciales y Análisis Numéricos - Sistemas Dinámicos Lineales Energía en procesos Industriales - Métodos de Optimización Estabilidad y Modelos de Control en Sistemas de Potencia
<b>2</b>	- Redes en Sistemas Sostenibles de Energía - Sistemas Sostenibles de Energía - Tópicos Especiales en Ingeniería	- Internado - Evaluación de la Rentabilidad y Financiación - Economía de los Mercados Energéticos - Política Energética, Cambio Climático y el Ártico - Ingeniería de los Yacimientos Geotérmicos -Innovación y Emprendimiento
<b>3, 4</b>	- Curso de Proyecto Interdisciplinario - Tesis	
<b>Áreas de Investigación:</b> - Energía geotérmica - Eficiencia de la Energía - Cambio Climático - Economía de los Mercados Energéticos		<b>Objetivos del Programa:</b> Los estudiantes estudian la energía renovable desde el punto de vista de los negocios, la ciencia y la tecnología y aprenden sobre una amplia gama de tecnologías renovables que se adaptan a las diferentes regiones y sociedades.
<b>Comentarios:</b> Tiene como gran ventaja ser dictado en Islandia, líder global en el desarrollo de la energía renovable.		


**Fuente:** REYKJAVÍK UNIVERSITY. Sustainable Energy MSc. Disponible en:  
<http://en.ru.is/ise/programmes/sustainable-energy/>

**Tabla 7. Programa de maestría en *Université de Neuchâtel***

<b>Maestría en Hidrogeología y Geotérmica</b>		
<b>Université de Neuchâtel</b>		
	Facultad <b>Facultad de Ciencias</b>	
	Duración <b>Dos años</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Inglés o Francés</b>
	Número de Créditos <b>120</b>	País <b>Suiza</b>
<b>Estructura Académica del Programa</b>		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	
1	<b>1. Cursos Introductorios</b> -Introducción a la Hidrogeología e Hidrología -Introducción a la Geotérmica -Matemáticas y Estadística <b>2. Procesos en Hidrogeología y Geotérmica</b> -Hidrodinámica Subterránea -Procesos de Transporte -Procesos Hidroquímicos y Microbianos -Mecánica de Rocas y Terremotos <b>3. Sistemas Agua-Tierra</b> -Sistemas de Acuíferos Aluviales - Acuíferos Fisurados y Cársticos -Campamento de trabajo I	
2	<b>1. Caracterización del Recurso en Sitio</b> -Perforación y Pruebas Hidráulicas - Geofísica y Teledetección -Campamento de trabajo II <b>2. Modelamiento I</b> -Modelado de Yacimientos -Modelado de los Procesos de Flujo y Transporte <b>3. Ingeniería y Explotación de Recursos</b> -Sistemas Geotérmicos Superficiales -Recursos Energéticos Profundos -Suministro y Tratamiento de Aguas -Ingeniería Geotécnica	
3	<b>1. Gerencia de Recursos</b> - Gestión de Recursos Hídricos en el Contexto Europeo - Gestión de Recursos Hídricos en Regiones Semiáridas y Áridas en Contextos Humanitarios - Contaminación del Agua Subterránea y Remediación - Hidrología Urbana - Los Recursos Geotérmicos en el Contexto Europeo y Mundial - Aspectos Económicos, Políticos y Sociales de la Geotermia <b>2. Modelamiento II</b> - Modelamiento Numérico de los Procesos Hidroquímicos - Modelamiento Numérico de los Procesos Geomecánicos - Modelado Inverso y Geoestadística <b>3. Preparación de la tesis e Investigación</b> - Revisión de la Literatura, Escritura Científica y Propuesta de Investigación	
4	- Investigación de Maestría	
<b>Áreas de Investigación:</b> Aguas subterráneas y recursos energéticos, énfasis en: Hidrología operativa, Hidrodinamismo, Hidroquímica, Geoquímica, Geotermia, Geoestadística y Modelamiento matemático.		<b>Objetivos del Programa:</b> Formar expertos en evaluación y uso de aguas subterráneas y la caracterización de yacimientos; con énfasis en estudios de contaminación y remediación de aguas subterráneas y explotación de recursos geotérmicos.
<b>Comentarios:</b> - La Universidad de Neuchâtel cuenta con el Centro de Investigación en Hidrogeología y Geotermia, CHYN; quienes fueron los encargados de diseñar el programa. Durante tres semestres se brinda al estudiante conocimientos básicos y habilidades específicas en Hidrogeología y Geotermia; el cuarto semestre se dedica a un proyecto individual de investigación que puede llevarse a cabo internamente o con colaboración de socios externos.		

**Fuente:** UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL. Hydrogeology and Geothermics. Disponible en: [https://www2.unine.ch/sciences/formations/Hydrogeologie\\_et\\_geothermie](https://www2.unine.ch/sciences/formations/Hydrogeologie_et_geothermie)

**Tabla 8. Programa de Maestría en *Dedan Kimathi University of Technology***

<b>Maestría en Tecnologías de Energía Geotérmica</b>		
<b>Dedan Kimathi University of Technology</b>		
	Facultad <b>Centro de Investigaciones y Entrenamiento Geotérmico</b>	
	Duración <b>Cuatro Semestres</b>	Lenguaje de Instrucción <b>Inglés</b>
	Número de Créditos <b>72</b>	País <b>Kenia</b>
<b>Estructura Académica del Programa (Enfoque Energía Geotérmica - Profundización)</b>		
Semestre	Asignaturas Obligatorias	Asignaturas Electivas
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción a la Ingeniería Geotérmica</li> <li>- Geología de la Exploración Geotérmica</li> <li>- Caracterización Geotécnica y Petrofísica de Rocas Geotérmicas</li> <li>- Exploración Geofísica</li> </ul>	<b>Electivas Generales</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerencia e Ingeniería de la Seguridad</li> <li>- Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento</li> <li>- Diseño de Facilidades</li> <li>- Transferencia de Masa y Calor</li> <li>- Formación de Escamas y Corrosión</li> <li>- Estadística Aplicada</li> <li>- Matemáticas Aplicadas</li> <li>- Geoestadística y Modelamiento de Datos</li> <li>- Programación</li> </ul> <b>Opciones de Especialización</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geología</li> <li>- Geoquímica</li> <li>- Geofísica</li> <li>- Ingeniería de Perforación</li> <li>- Ingeniería de Yacimientos</li> <li>- Campos y Plantas Geotérmicas</li> <li>- Tecnología Geomática y Geoespacial</li> <li>- Ciencias Medio Ambientales</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploración Geoquímica</li> <li>- Aplicaciones Geomáticas y Geoespaciales en la Exploración de la Energía Geotérmica</li> <li>- Ingeniería de Perforación</li> <li>- Ingeniería de Yacimientos</li> </ul>	
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Campos y Plantas Geotérmicas</li> <li>- Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Energía Geotérmica</li> <li>- Gerencia de Operaciones y Proyectos</li> <li>- Proyecto</li> </ul>	
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodología de la Investigación</li> <li>- Ingeniería Económica</li> </ul>	
<b>Áreas de Investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La investigación dentro de este programa debe enfocarse en el diseño de soluciones a problemas prácticos de la industria aplicando el conocimiento teórico adquirido en el mismo.</li> </ul>		<b>Objetivos del Programa:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ofrecer entrenamiento en todos los aspectos de la energía geotérmica (Exploración- Operaciones en plantas).</li> <li>- Desarrollar capacidad en Tecnología Geotérmica en la región.</li> <li>- Promocionar la energía Geotérmica como una fuente económica de energía renovable.</li> <li>- Facilitar la investigación con el objetivo de optimizar el desempeño en el desarrollo de la energía geotérmica</li> </ul>
<b>Comentarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Esta universidad cuenta con un programa especializado para la maestría en cuestión, el cual cuenta con prestigio nacional, regional e internacional por su contribución al desarrollo de proyectos geotérmicos.</li> </ul>		

**Fuente:** DEDAN KIMATHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Geothermal Training and Research Institute (GETRI). Disponible en:  
<http://www.dkut.ac.ke/index.php/geothermal-training-and-research>

### 3. ENERGÍA GEOTÉRMICA

#### 3.1 GENERALIDADES

El planeta Tierra constituye, desde el punto de vista energético, un sistema activo, que recibe y comunica energía al medio que lo rodea. Existen diversos procesos geodinámicos a nivel superficial y de subsuelo tales como volcanes, intrusiones magmáticas, terremotos, formación de cordilleras, la tectónica de placas, metamorfismo, etcétera, que son controlados por la transferencia y generación de calor en el interior de la tierra.

El calor que se produce en el interior de la Tierra y se transfiere a la superficie es conocido como geotermia. Este recurso (energía calórica) es usualmente aprovechado en lugares cercanos a los volcanes en cuyo interior se localizan rocas a altas temperaturas que calientan el agua que se infiltra en el subsuelo. La energía geotérmica es considerada en todo el mundo como una forma de energía limpia y renovable. Se estima que el flujo de calor del interior de la tierra es cercano a los 42 millones de megavatios de energía, los cuales continuarán fluyendo por algunos miles de millones de años más, razón por la cual se considera una fuente ilimitada de energía. El recurso geotérmico puede ser aprovechado para <sup>18</sup>:

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

La primera planta de generación de energía geotérmica fue instalada en una zona italiana conocida como Lardarello, la cual entró en funcionamiento en 1913 y en la actualidad continúa en operación. Durante los últimos 30 años la industria geotérmica ha demostrado ser viable económicamente y amigable con el medio ambiente; la evolución de esta área es resultado del continuo mejoramiento en el diseño de los equipos de transformación de calor en energía eléctrica y la transferencia de tecnología usada para la exploración de petróleo y gas. Lo anterior ha permitido la explotación intensiva de estos recursos en países como Japón, Islandia, Nueva Zelanda, El Salvador, Costa Rica, Estados Unidos y México <sup>19</sup>.

**3.1.1 Origen del recurso geotérmico** La energía geotérmica es el resultado del calor producido en el centro de la tierra a partir del decaimiento nuclear y la actividad que allí se desarrolla como producto del proceso mismo de su formación hace millones de años. Si bien

---

<sup>18</sup> Op. Cit. MARZOLF, N. "Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia". Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2014.

<sup>19</sup> Ibíd.

ese calor que se desprende del núcleo y se transmite hacia la superficie terrestre es relativamente inagotable, la explotación del mismo en yacimientos particulares en los que confluyen las características requeridas para su aprovechamiento a bajas profundidades presenta restricciones que pueden hacer que el recurso sea agotable si este se explota a una tasa más rápida que aquella con la que este se recupera<sup>20</sup>.

La mayor expresión de la actividad volcánica, producida por el choque y subducción entre las placas tectónicas, se localiza en lo que se denomina El Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual rodea la línea de la costa occidental del continente americano. Estas zonas presentan una elevada actividad sísmica y volcánica, con un alto potencial geotérmico.

El gradiente geotérmico o aumento de la temperatura de la tierra con la profundidad es una variable indicativa del potencial geotérmico de un sitio. Un valor normal de gradiente térmico corresponde a un aumento de entre 25 y 30 °C/km. En algunas regiones, especialmente en aquellas donde se presentan volcanes, el gradiente geotérmico es superior al normal. Comúnmente en estas zonas afloran manantiales de aguas termales que constituyen una evidencia de la presencia de rocas calientes, masas magmáticas o gases volcánicos en ascenso o cerca de la superficie y que provienen del calor del interior de la tierra. Las regiones con estas características podrían ser promisorias para desarrollos geotérmicos y especialmente, para generación de energía eléctrica<sup>21</sup>.

El desarrollo del recurso geotérmico en Colombia puede hacerse efectivo, porque se cuenta con una posición geográfica privilegiada y un marco geológico favorable, al contar con la presencia en buena parte del territorio nacional del cinturón de fuego del pacífico, como se puede observar en la figura 1<sup>22</sup>.

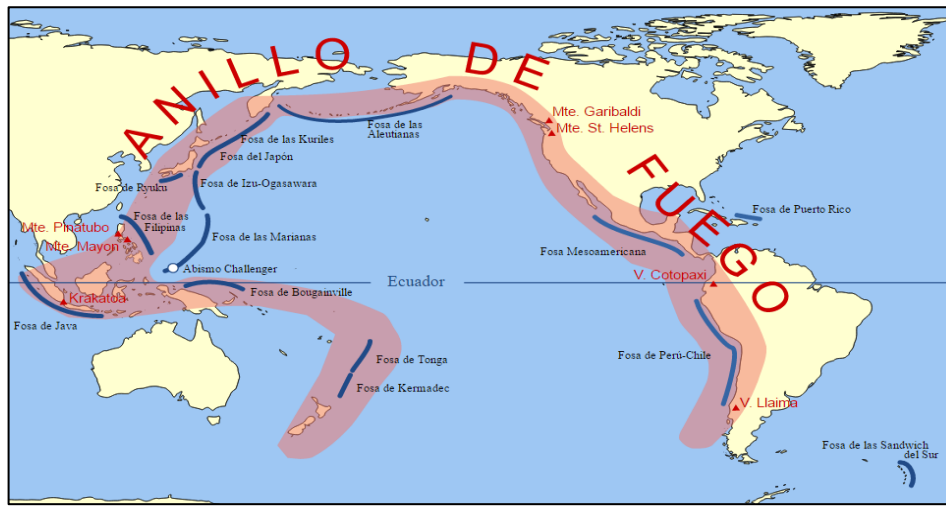
---

<sup>20</sup> UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

<sup>21</sup> Op. Cit. MARZOLF, N. "Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia". Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2014.

<sup>22</sup> ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

**Figura 1. Cinturón de Fuego del Pacífico**



**Fuente:** LEE, K.C. “Classification of Geothermal Resources, An Engineering Approach”, Geothermal Institute at the University of Auckland, 1996.

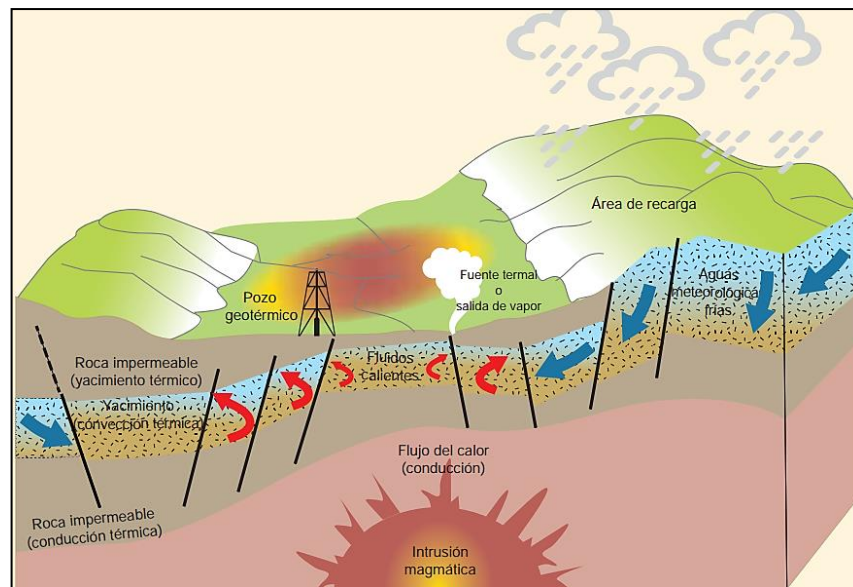
**3.1.2 Los sistemas geotérmicos** El potencial para el aprovechamiento de la energía geotérmica requiere de la confluencia de varios factores como son, en primer lugar, la presencia de una anomalía geotérmica cercana a la superficie, es decir, la presencia de una fuente de calor (magma o roca caliente) a una profundidad técnicamente explotable (de un par de kilómetros). A esto se suma la necesidad de contar con rocas porosas y permeables en el subsuelo que recubra tal anomalía, y con la presencia de agua en forma líquida o gaseosa que facilite el flujo de ese calor, bien sea para ser utilizado directamente o cedido a otro fluido de trabajo que permita conducir procesos de generación termoeléctrica similares a los empleados en el caso de plantas térmicas operadas con combustibles.

En este sentido, los diferentes elementos que conforman un Sistema Geotérmico se listan a continuación:

- **Fuente de calor:** puede ser; una roca caliente que ha incrementado su temperatura por contacto con un cuerpo volcánico intrusivo; una cámara magmática o gases calientes de origen magmático. Generalmente la fuente de calor presenta temperaturas mayores a los 600 °C. Estas fuentes se pueden encontrar a diferentes profundidades, mayores a dos kilómetros.
- **Reservorio geotérmico:** formación de rocas permeables, donde circula el fluido geotérmico a profundidades económicamente explotables. Conocido también como yacimiento geotérmico.

- **Sistema de suministro de agua:** sistema de fallas o diaclasas en las rocas que permiten la recarga del reservorio geotérmico con el agua que se infiltra en el subsuelo. Este flujo reemplaza los fluidos que salen del reservorio en forma de manantiales termales o aquellos que son extraídos a través de pozos.
- **Capa sello:** estrato impermeable, generalmente compuesto por arcillas (esmectita o montmorillonita) producto de la alteración de las rocas por alta temperatura, que cubre el reservorio, lo contiene y evita la pérdida de agua y vapor.
- **Fluido geotérmico:** se denomina así al agua, en su fase líquida, de vapor o en combinación, que se encuentra en el reservorio geotérmico y que puede aflorar a la superficie de manera natural mediante manantiales de aguas termales o pozos geotérmicos. Estos fluidos a menudo contienen sustancias químicas disueltas como cloruros (Cl), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfatos (SO<sub>4</sub>) y sales minerales. La figura 2 muestra una vista esquemática de un sistema geotérmico ideal.

**Figura 2. Representación esquemática de un sistema geotérmico ideal**



**Fuente:** GEHRINGER, M., LOKSHA, V. ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANT PROGRAM – ESMAP. “Manual de Geotermia: Cómo Planificar y Financiar la Generación de Electricidad”, 2012.

Los sistemas geotérmicos se pueden clasificar de acuerdo con su entalpía o capacidad de absorber o ceder energía termodinámica, la cual se representa en la temperatura del fluido geotérmico como se muestra a continuación:

**Tabla 9. Clasificación de los sistemas geotérmicos**

Clase de Sistema	Muffler y Cataldi (1978)	Houchstein (1990)	Benderitter y Cormy (1990)	Haene, Rybach y Stegena (1998)
Baja Entalpía (Agua termal)	< 90 °C	< 125 °C	< 100 °C	< 150 °C
Media Entalpía (Vapor y agua)	90° a 150 °C	125 a 225 °C	100 a 200 °C	NA
Alta Entalpía (Dominado por vapor seco)	> 150 °C	> 225 °C	> 200 °C	> 150 °C

**Fuente:** ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

El corazón de un sistema geotérmico lo constituye la fuente de calor. Si las condiciones son favorables, los demás componentes pueden ser adecuados artificialmente. En algunos casos, si se encontrara roca caliente seca, es posible inyectar agua superficial y obtener vapor o agua caliente.

Los fluidos geotérmicos usados para la generación de energía pueden ser devueltos al sistema de roca caliente o a un reservorio geotérmico, mediante pozos de reinyección, una vez que los fluidos se han utilizado y hayan perdido calor y presión; de esta manera se asegura la recarga del reservorio.

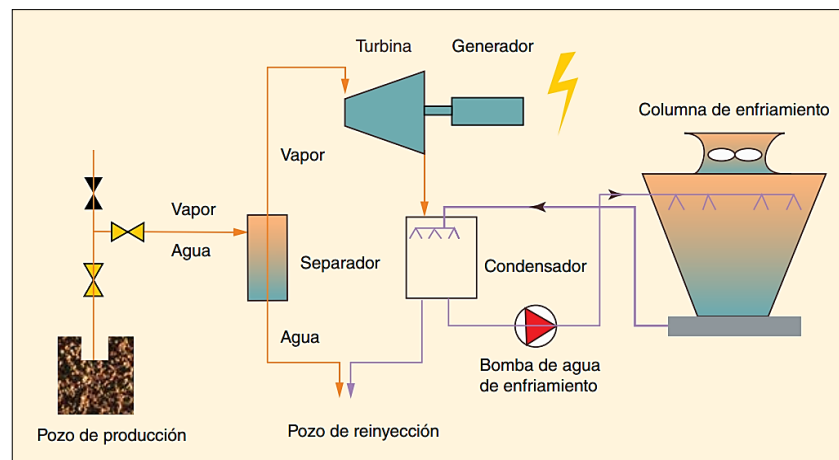
Otra forma de mantener campos geotérmicos viejos o agotados, es la recarga artificial mediante pozos de inyección. Así se hizo cuando, debido a una falta de fluidos, en 1998 la producción del campo geotérmico de los Geysers, en California (EEUU), empezó a declinar dramáticamente. Allí se inició el transporte y reinyección de 0,48 m<sup>3</sup>/segundo de aguas residuales tratadas, las cuales fueron transportadas desde una distancia de 66 kilómetros, con lo que se logró reactivar la mayoría de plantas de generación de energía eléctrica del campo<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Op. Cit. MARZOLF, N. "Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia". Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2014.

**3.1.3 Generación de energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos** La producción de energía eléctrica a partir de fluidos geotérmicos puede realizarse de forma directa o indirecta, términos mejor conocidos como tecnología flash y binaria respectivamente.

**3.1.3.1 Tecnología flash:** también denominada tecnología abierta o de vapor directo. Se utiliza cuando se tienen fluidos geotérmicos con temperaturas superiores a los 200 °C en planta. Los fluidos geotérmicos pasan por un separador de vapor y agua, el vapor se inyecta a una turbina que a su vez mueve el generador eléctrico, pasando luego a un condensador. Al final del proceso el fluido geotérmico que ha cedido el calor retorna al reservorio mediante pozos de inyección.

**Figura 3. Diagrama de la Tecnología Flash**

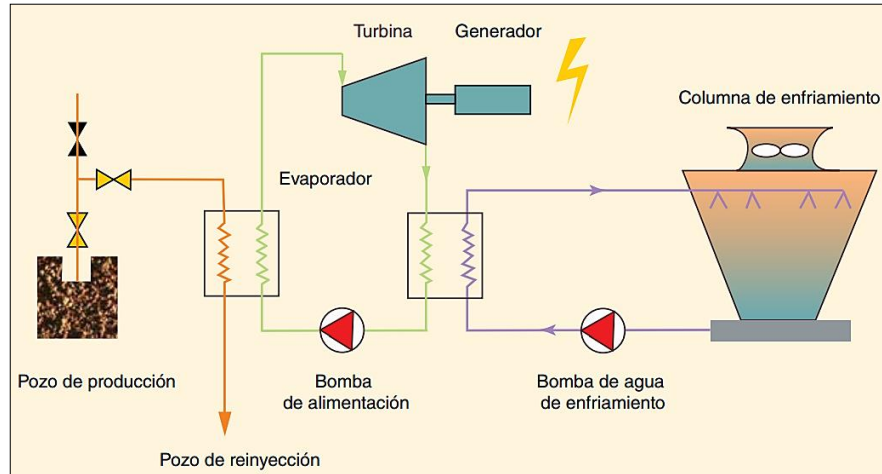


**Fuente:** INTERNATIONAL GEOTHERMAL ASOCIATION, “What is Geothermal Energy?” Disponible en: [https://www.geothermal-energy.org/what\\_is\\_geothermal\\_energy.html](https://www.geothermal-energy.org/what_is_geothermal_energy.html)

**3.1.3.2 Tecnología binaria:** conocida como de ciclo cerrado. Esta tecnología se utiliza cuando se tienen fluidos geotérmicos con temperaturas inferiores a los 200 °C en planta. En la tecnología binaria, se transmite parte de la temperatura del fluido geotérmico a un compuesto orgánico mediante un intercambiador de calor. Se utilizan compuestos orgánicos como n-pentano o amoníaco, entre otros, que tienen bajo punto de ebullición y alta presión de vapor a bajas temperaturas. El vapor del compuesto orgánico es inyectado a una turbina que, a su vez, mueve un generador eléctrico, pasando luego a un condensador y retornando

al ciclo. El fluido geotérmico que ha cedido el calor retorna al reservorio mediante pozos de inyección.

**Figura 4. Diagrama de la Tecnología Binaria**



**Fuente:** INTERNATIONAL GEOTHERMAL ASOCIATION, “What is Geothermal Energy?” Disponible en: [https://www.geothermal-energy.org/what\\_is\\_geothermal\\_energy.html](https://www.geothermal-energy.org/what_is_geothermal_energy.html)

**3.1.4 Beneficios de la energía geotérmica** En Colombia, el desarrollo y aprovechamiento de la geotermia, se encuentra dentro de los temas que el Estado colombiano ha priorizado en sus políticas de promoción del uso eficiente de la energía, el desarrollo de fuentes no convencionales de energía, la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)<sup>24</sup>.

La geotermia presenta una serie de características que la hacen una tecnología muy atractiva para la generación de energía eléctrica. Ha sido desarrollada y usada de manera intensiva por algunos países tales como Estados Unidos, México, El Salvador, Costa Rica, Guatemala, Nicaragua, Islandia, Italia, Japón, Indonesia y Filipinas.

A continuación, se presentan algunos de los beneficios más importantes:

- Es una forma de energía renovable y limpia.

<sup>24</sup> Op. Cit. ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

- Utiliza tecnologías probadas y confiables que se comercializan a nivel mundial.
- Produce energía de manera confiable durante todo el año y no es afectada por la estacionalidad de la hidrología.
- Utiliza recursos geotérmicos a grandes profundidades que no afectan las aguas termales que brotan en superficie.
- Contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por la sustitución de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.
- Contribuye a las políticas mundiales que promueven la incorporación de fuentes renovables no convencionales de energía que mitiguen el cambio climático.
- Requiere menores espacios para la construcción y operación.
- Genera un número importante de empleos directos e indirectos, así como otros beneficios para las comunidades localizadas de su zona de influencia.
- Permite llevar a cabo actividades de agricultura, ganadería, silvicultura o conservación dentro de los campos geotérmicos.
- Permite apropiar y transferir recursos a los municipios y corporaciones ambientales locales para la conservación y el saneamiento ambiental.
- No se generan vertimientos líquidos provenientes del proceso de generación, pues los fluidos son reinyectados.
- Los pozos de producción son revestidos internamente de manera que se evita la contaminación de las aguas subterráneas con aguas calientes provenientes del reservorio.
- El recurso geotérmico está disponible todo el año independientemente de las variaciones climáticas o hidrológicas<sup>25</sup>.

Desde una perspectiva ambiental global, los beneficios del desarrollo de la energía geotérmica son incuestionables. Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la generación de energía geotérmica, aunque no siempre son cero, son mucho más bajas que las que se producen por energía generada de combustibles fósiles en ignición. Los impactos ambientales locales del reemplazo de combustibles fósiles por energía geotérmica tienden a ser positivos al ponerse en la balanza, debido principalmente al impacto evitado de la

---

<sup>25</sup>Op. Cit. ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

combustión de combustible sobre la calidad del aire y los peligros evadidos del transporte y la manipulación de combustibles. Desde luego, como cualquier desarrollo de infraestructura, la energía geotérmica cuenta con sus propios impactos y riesgos sociales y ambientales que tienen que ser manejados, y debe consultarse a los grupos afectados durante toda la preparación y desarrollo del proyecto. Los impactos de un proyecto de desarrollo de energía geotérmica usualmente son altamente localizables; pocos de ellos, si hubiera, son irreversibles; y -en la mayoría de los casos- las medidas de mitigación se pueden implementar fácilmente<sup>26</sup>.

**3.1.5 Etapas de desarrollo de un proyecto geotérmico** El recurso geotérmico y sus proyectos asociados se diferencian de otras fuentes no convencionales de energía en las etapas previas a la explotación comercial del recurso, que requieren de procedimientos que abarcan diferentes fases de reconocimiento del terreno para la identificación de potenciales genéricos y posteriormente una etapa invasiva de exploración en la que es necesario perforar pozos que involucran altos costos y un alto nivel de riesgo, ya que el nivel de incertidumbre frente a la viabilidad de aprovechamiento del yacimiento es muy alta en tal etapa. En este sentido, la actividad de la identificación y exploración de yacimientos con potencial para el aprovechamiento del recurso geotérmico se asemeja en gran medida a la actividad exploratoria en la industria de los hidrocarburos<sup>27</sup>.

Igualmente, no es posible comprobar si existe el recurso geotérmico en cantidad y calidad aprovechable hasta que se ejecute la fase de factibilidad, en la cual se realizan las perforaciones exploratorias, es decir, después de que se han hecho cuantiosas inversiones a riesgo en estudios y las mismas perforaciones. En la figura 5 se pueden observar las curvas típicas de riesgo y ejecución de costos a través del desarrollo de un proyecto geotérmico.

Los estudios técnicos previos a la perforación exploratoria son fundamentales, puesto que una mayor cantidad de información geológica, geofísica, geoquímica e hidrogeológica, permite la construcción de un Modelo Conceptual del Sistema Geotérmico más cercano a la realidad y por tanto, se aumenta la probabilidad de éxito en la exploración. Sin embargo, sólo la perforación exploratoria puede confirmar la existencia del recurso geotérmico.

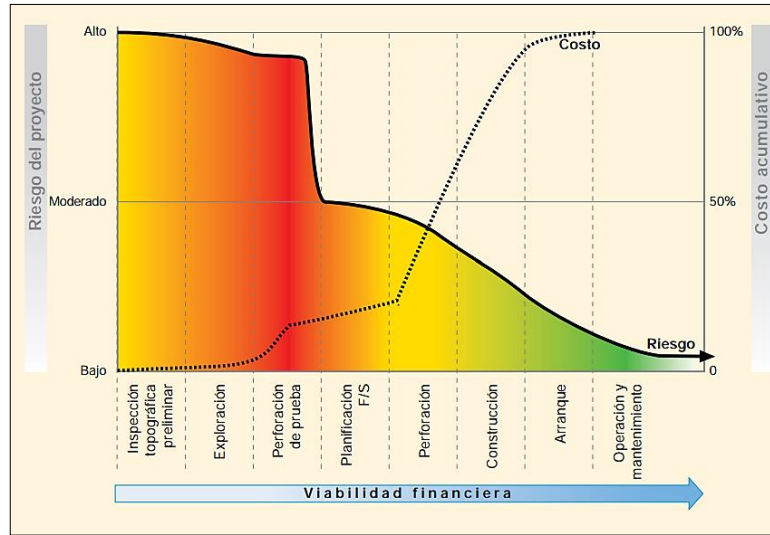
El desarrollo de un proyecto geotérmico se podría analizar en las fases que se ilustran en la Tabla 10.

---

<sup>26</sup> Op. Cit. LEE, K.C. “Classification of Geothermal Resources, An Engineering Approach”, Geothermal Institute at the University of Auckland, 1996.

<sup>27</sup> Op. Cit. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

**Figura 5. Comportamiento de costos y niveles de riesgos para la energía geotérmica**



**Fuente:** INTERNATIONAL GEOTHERMAL ASOCIATION, “What is Geothermal Energy?” Disponible en: [https://www.geothermal-energy.org/what\\_is\\_geothermal\\_energy.html](https://www.geothermal-energy.org/what_is_geothermal_energy.html), 2017

**Tabla 10. Fases de desarrollo de un proyecto geotérmico**

Fase	Objeto	Actividades
Fase 1. Reconocimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Establecer las zonas con potencial geotérmico.</li> <li>- Delimitar las áreas para los estudios técnicos y ambientales de prefactibilidad.</li> <li>- Planear los estudios de prefactibilidad.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación de zonas potenciales</li> <li>2. Análisis de viabilidad preliminar de un desarrollo geotérmico</li> <li>3. Análisis de restricciones ambientales</li> <li>4. Planeación de la ejecución de los estudios de prefactibilidad</li> </ol>
Fase 2. Prefactibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Determinar la potencial existencia del recurso geotérmico, la posible localización de la fuente de calor y el reservorio (Modelo Geotérmico Conceptual).</li> <li>- Establecer la viabilidad técnica y ambiental del desarrollo de un campo geotérmico.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Estudios de geología, geoquímica e hidrogeología.</li> <li>6. Gradiente térmico.</li> <li>7. Elaboración de modelos geotérmicos.</li> <li>8. Selección de sitios de perforación</li> <li>9. Diseño de perforaciones exploratorias.</li> <li>10. Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para perforaciones exploratorias.</li> <li>11. Trámite de la licencia ambiental para perforaciones exploratorias.</li> </ol>

<p>Fase 3. Factibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localizar y llegar hasta el reservorio, obtener fluidos y evaluar la calidad y cantidad disponible del recurso para generación de energía.</li> <li>-Realizar el análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto geotérmico.</li> <li>-Realizar los diseños requeridos y planear el desarrollo del campo geotérmico y la planta de generación.</li> </ul>	<p>12. Perforaciones exploratorias. 13. Evaluación del yacimiento. 14. Análisis de viabilidad técnica y económica del desarrollo de un proyecto geotérmico. 15. Diseño de la planta y planeación del desarrollo del campo. 16. Ejecución del Plan de Manejo Ambiental para las perforaciones exploratorias 17. Realización del Estudio de Impacto Ambiental para el desarrollo del campo, construcción y operación de la planta de generación. 18. Trámite de la licencia ambiental para el desarrollo del campo, construcción y operación de la planta.</p>
<p>Fase 4. Desarrollo del Campo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo del campo geotérmico con criterios de sostenibilidad</li> </ul>	<p>19. Perforación de pozos de producción. 20. Perforación de pozos de reinyección. 21. Ejecución del PMA para cada una de las actividades de desarrollo del campo.</p>
<p>Fase 5. Construcción de la Planta y Puesta en Operación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puesta en operación de la planta y el campo geotérmico.</li> </ul>	<p>22. Construcción de la planta y obras asociadas (líneas de conducción de agua y vapor, vías de acceso, subestación, línea, etc.). 23. Alistamiento de la planta y el campo. 24. Puesta en operación comercial. 25. Ejecución del Plan de Manejo Ambiental para la operación de la planta y el campo geotérmico.</p>

**Fuente:** ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

### 3.1.6 Transferencia de tecnología entre la industria petrolera y la geotérmica

Un estudio realizado en la Universidad Industrial de Santander en el año 2015<sup>28</sup> analiza las oportunidades y retos de diversas posibilidades para el aprovechamiento práctico del conocimiento científico entre las industrias geotérmica y de los hidrocarburos. Se encontró que ambas industrias se complementan; comparten las etapas de exploración, análisis de yacimientos, perforación, completamiento y facilidades de superficie. Sin embargo, al día de hoy, los esfuerzos de cooperación entre los dos sectores en países como Colombia son

<sup>28</sup> GIRALDO, J., VESGA, L. “Energía Geotérmica y la Explotación de Yacimientos Hidrocarburos: Oportunidades para una Mutua Transferencia de Tecnología”, Universidad Industrial de Santander, 2015.

insuficientes, lo que constituye una oportunidad latente a ser explotada en futuros proyectos. Algunos de las áreas para la transferencia de tecnología mencionada son:

- Utilización del conocimiento adquirido por la industria petrolera para las primeras etapas de proyectos geotérmicos.
- Generación de energía geotérmica a partir de pozos petroleros abandonados.
- Utilización de infraestructura en campos petroleros para la implementación de ciclos orgánicos Rankine y Kalina para la cogeneración de energía eléctrica a partir de aguas de producción con alta temperatura.
- Aprovechamiento de aguas de producción de campos petroleros.

La industria petrolera y la geotérmica comparten gran parte de las actividades que se realizan, razón por la cual los problemas técnicos, de ingeniería y operacionales son en gran parte de interés común en la búsqueda de las soluciones. Por ello es importante identificar los problemas principales para con ello buscar la posible transferencia tecnológica entre estas industrias.

A continuación, se nombran algunas dificultades compartidas entre la industria geotérmica y petrolera:

- Perforación y completamiento.
- Formación de incrustaciones.
- Corrosión.
- Problemas geomecánicos.
- Impactos ambientales y licenciamiento ambiental.

En conclusión, puede verse que en materia de transferencia de tecnología entre estas dos industrias están las puertas abiertas a una diversidad de propuestas, como las arriba mencionadas.

## **3.2 ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA**

**3.2.1 Desarrollo de la geotérmica a nivel mundial** En 2014 la energía renovable, entre ellas, la energía geotérmica, siguió desarrollándose, aun con el creciente consumo de energía a nivel mundial (particularmente en los países en desarrollo), y con el declive dramático en los precios del petróleo durante la segunda mitad del año como telón de fondo. A pesar de que el uso de energía estuvo en aumento, por primera vez en cuatro décadas las emisiones mundiales asociadas con el consumo de energía se mantuvieron estables en 2014; al tiempo que la economía mundial creció. Esta estabilización se debe tanto a la continua y cada vez

mayor penetración de la energía renovable, como a las mejoras en eficiencia energética. El mundo entero está cada vez más consciente de que las energías renovables (y la eficiencia energética) son críticas para atender los problemas del cambio climático, crear nuevas oportunidades económicas, y proporcionar acceso a la energía a los miles de millones de personas que aún no cuentan con servicios modernos para el suministro de electricidad.<sup>29</sup>

El 2015 fue un año notable para la energía renovable, pues contó con las mayores incorporaciones de capacidad mundial vistas hasta la fecha. Sin embargo, los desafíos persisten, sobre todo más allá del sector eléctrico. En este año se observaron diversos avances que influyeron en la energía renovable, incluyendo una dramática disminución en los precios de los combustibles fósiles a nivel mundial; una serie de anuncios respecto a la disminución más sustancial en la historia de los precios en contratos a largo plazo de energía renovable; un aumento significativo de atención en la acumulación de energía; y un acuerdo histórico sobre el clima que reunió en París a toda la comunidad mundial.

El 2015 fue un año de primicias, acuerdos de alto perfil y publicaciones relacionadas con las energías renovables. Éstos incluyen compromisos tanto del G7 como del G20 para fomentar el acceso a la energía renovable y avanzar en la eficiencia energética, así como adoptar el objetivo dedicado al Desarrollo Sostenible (SDG 7), incluido en la iniciativa Energía Sostenible para Todos de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Los eventos del año culminaron en diciembre, durante la 21ª Conferencia de las Partes (COP21) en París, Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), donde 195 países acordaron limitar el calentamiento global muy por debajo de los 2 grados centígrados. En el 2014, la energía renovable generó un estimado del 19.2% en el consumo final mundial de energía; mientras que en el 2015 continuó el crecimiento en la capacidad y generación. Durante el 2015, se añadió un estimado de 147 gigavatios (GW) de capacidad de energía renovable, el mayor incremento anual jamás registrado; la capacidad calorífica renovable aumentó en alrededor de 38 gigavatios-térmicos (GWt); y la producción total de biocombustibles continuó al alza. Este crecimiento se produjo a pesar del desplome de los precios globales de los combustibles fósiles, los subsidios en curso a los combustibles fósiles, además de otros retos respecto a las energías renovables, incluyendo la integración de los avances en la participación de la generación de energía renovable, reglamentaciones e inestabilidad política, barreras normativas y restricciones fiscales. Por sexto año consecutivo, las energías renovables sobrepasaron a los combustibles fósiles en inversiones netas para adiciones de capacidad de energía. Durante el 2015, el empleo aumentó a un estimado de 5% en el sector de la energía renovable, elevándose a 8.1 millones de puestos de trabajo (directos

---

<sup>29</sup> Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21. "Renewables 2016 Global Status Report. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_en\\_10.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_en_10.pdf)

e indirectos), teniendo en cuenta todas las tecnologías de energía renovable, los principales empleadores durante el 2015 fueron China, Brasil, India y Estados Unidos<sup>30</sup>.

Alrededor de 315 MW de nueva capacidad de energía geotérmica entraron en funcionamiento en el 2015, elevando el total mundial a 13.2 GW (ver Tabla 11). La energía geotérmica genera un estimado de 75 tera vatios horas (TWh) durante todo el año. Los bajos costos de los combustibles fósiles, junto con el alto riesgo de desarrollar un proyecto, generan condiciones desfavorables para la energía geotérmica. En 2014, Kenia lideró en cuanto a nuevas y grandes inversiones en el desarrollo de la energía geotérmica. En 2015, Turquía lideró el mercado, destacando en cerca de la mitad de las nuevas adiciones de capacidad a nivel mundial. El uso directo de la energía geotérmica aumentó a un estimado de 272 petajoules (PJ) de energía térmica durante el 2015 (75 TWh). Se estima un añadido de cerca de 1.2 GWth en el 2015, con una capacidad total de 21.7 GWth. La tasa anual de crecimiento promedio en el consumo de calor geotérmico de uso directo ha sido un poco más del 3% en los últimos años<sup>31</sup>.

**Tabla 11. Indicadores de energía geotérmica en los últimos años**

Capacidad de Energía Geotérmica a nivel Mundial [GW]			
Inicio de 2004	2013	2014	2015
8,9	12,1	12,8	13,2

**Fuente:** Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21. “Renewables 2016 Global Status Report. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_en\\_10.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_en_10.pdf)

Los países que adicionaron capacidad durante el año 2015 son: Turquía, Estados Unidos, México, Kenia, Japón y Alemania (ver Tabla 12). Al final del 2015, los países con mayor capacidad o generación total fueron: Estados Unidos (3,6 GW), Filipinas (1,9 GW), Indonesia (1,4 GW), México (1,1 GW), Nueva Zelanda (1,0 GW), Italia (0,9 GW), Islandia (0,7 GW), Turquía (0,6 GW), Kenia (0,6 GW) Y Japón (0,5 GW). La porción más grande de nueva capacidad de generación geotérmica en 2014 entró en operación en Kenia, lo que fortaleció el hincapié por usar energía geotérmica en África Oriental<sup>32</sup>.

<sup>30</sup> Op. Cit. GIRALDO, J., VESGA, L. “Energía Geotérmica y la Explotación de Yacimientos Hidrocarburos: Oportunidades para una Mutua Transferencia de Tecnología”, Universidad Industrial de Santander, 2015.

<sup>31</sup> Ibíd.

<sup>32</sup> Ibíd.

**Tabla 12. Cinco países líderes a nivel mundial en desarrollo de energía geotérmica**

Criterio	Países				
1.Capacidad o generación total a finales de 2015 (Electricidad)	Estados Unidos	Filipinas	Indonesia	México	Nueva Zelanda
1.Capacidad o generación total a finales de 2015 (Calor)	China	Turquía	Japón	Islandia	India
3.Inversión anual /Adiciones a la capacidad neta a finales de 2015	Turquía	Estados Unidos	México	Kenia	Alemania /Japón

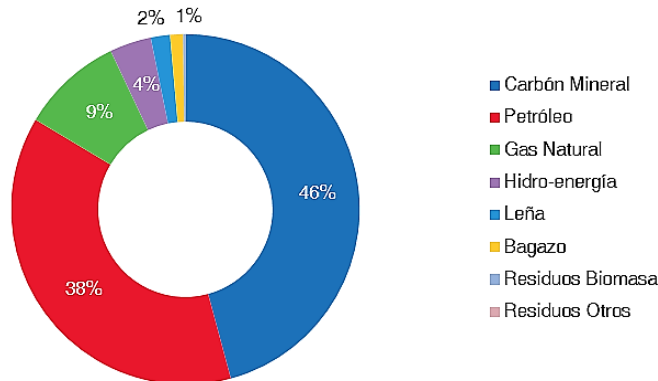
**Fuente:** Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21. “Renewables 2016 Global Status Report. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_en\\_10.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_en_10.pdf)

A nivel mundial hay una concientización cada vez mayor sobre la importancia de la energía renovable y la eficiencia energética, las cuales son críticas no sólo para atender el cambio climático, sino para crear nuevas oportunidades económicas y proporcionar acceso a la energía a miles de millones de personas que aún no cuentan con servicios modernos para el suministro de energía. Durante la década pasada, y particularmente en años recientes, han sido posibles avances en tecnologías de energía renovable, incrementos en la capacidad de generación a nivel mundial, así como rápidas reducciones de costos gracias al apoyo brindado por las políticas económicas, mismas que han atraído una cantidad significativa de inversiones e impulsado la baja de costos, por medio de economías de escala. La experiencia del 2014 demostró que la penetración y el uso de fuentes de energía tanto variables como no variables se encuentran en franco crecimiento y, por lo tanto, contribuyen a la diversificación de la mezcla de energía. A pesar de que muchas tecnologías de energía renovable han experimentado una expansión rápida, el crecimiento de la capacidad de generación, así como las mejoras en la eficiencia energética se encuentran debajo del porcentaje necesario para alcanzar las metas de la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4ALL por sus siglas en inglés), las cuales consisten en duplicar el nivel de uso de energía renovable, duplicar las mejoras mundiales en eficiencia energética, y proporcionar acceso universal a la energía para el año 2030.

### 3.2.2 Desarrollo de la geotérmica en Colombia

**3.2.2.1 Contexto nacional** <sup>33</sup> Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente, la explotación y producción energética del país está constituida a grandes rasgos en un 93% de recursos primarios de origen fósil, aproximadamente un 4% de hidroenergía y un 3% de biomasa y residuos (figura 6).

**Figura 6. Explotación y producción nacional de recursos energéticos primarios en el año 2012**

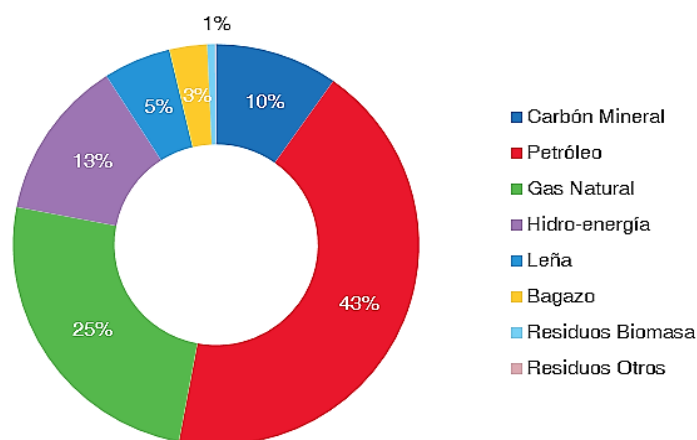


**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

De esa explotación primaria, el país exporta aproximadamente un 69%, principalmente en forma de carbón mineral (aprox. el 94% del producido, representando el 62% de las exportaciones energéticas) y petróleo (aprox. el 66% del producido, representando el 36% de las exportaciones energéticas), y utiliza un 31% del cual, cerca del 78% corresponde a recursos fósiles y el 22% a recursos renovables (figura 7).

**Figura 7. Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012**

<sup>33</sup> Op. Cit. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015..



**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

El país depende entonces en cerca de un 78% de combustibles fósiles que hoy en día está en capacidad de autoabastecer y cuyos niveles de producción actuales (a 2013) indican reservas suficientes para cerca de 170 años en el caso de carbón, del orden de 7 años para el petróleo y 15 años para el gas natural <sup>34</sup>. En el caso de este último, es necesario tener en cuenta que conforme las tasas de producción decrecen y la demanda aumenta, se prevé la necesidad de realizar importaciones a partir del año 2017 o 2018.

Dada la baja participación del carbón en la canasta energética doméstica, y la alta participación de combustibles líquidos derivados del petróleo y del gas natural, aun contando con el descubrimiento de nuevas reservas de estos recursos, el desarrollo de fuentes alternativas locales de energía que puedan sustituir por lo menos parcialmente el uso de estas fuentes en el transcurso de las próximas décadas cobra relevancia para satisfacer la demanda energética doméstica futura, a fin de no tener que ceder a una alta dependencia en la importación de estos energéticos convencionales en el largo plazo.

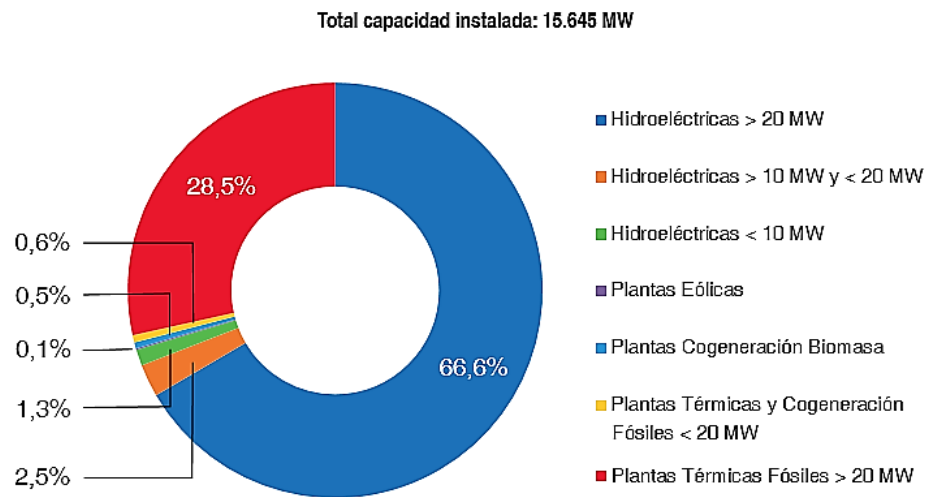
Entre tanto, la matriz eléctrica, que produce aproximadamente un 17% de la energía final consumida en el país, cuenta con la amplia participación de la energía hidroeléctrica como recurso renovable, que representa entre el 70% y 80% de la generación, según variaciones en la hidrología anual, y el 70% de la capacidad instalada a diciembre de 2014.

Sin embargo, a raíz de las ventajas que traería la diversificación de la canasta energética, fundamentada en la disponibilidad de recursos, la progresiva reducción en los costos de

<sup>34</sup> Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, “Histórico de producción de carbón anual. Sistema de Información Minero Colombiano”, 2014.

inversión asociados a su aprovechamiento, y la evolución en términos de rendimiento y sofisticación de tecnologías como son las relacionadas con la energía eólica y la solar, estas alternativas, junto con la cogeneración moderna de calor y electricidad a partir de biomasa y la generación geotérmica (que aportan en ambos casos firmeza y mayor diversificación en la canasta no solo eléctrica sino energética) comienzan a cobrar sentido para ser incorporadas en la matriz energética nacional, sin mencionar, por otro lado, la posibilidad de incrementar el uso de derivados energéticos de la biomasa en el sector transporte.

**Figura 8. Capacidad de generación eléctrica del sistema interconectado nacional a diciembre de 2014**



**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

**3.2.2.1 Motivaciones para desarrollar las fuentes no convencionales de energía renovable<sup>35</sup>** Teniendo presente que Colombia cuenta con un sistema eléctrico nacional relativamente bajo en emisiones de carbono (en comparación con otros países con mayor participación de combustibles fósiles en su canasta eléctrica), no dependiente en energéticos importados, y al mismo tiempo con suficiente capacidad de generación actual y en desarrollo para satisfacer su demanda eléctrica en el corto plazo (por lo menos por los próximos 5 años), en principio no parecieran tenerse fuertes razones para impulsar el desarrollo de fuentes de energía alternativa, como suelen serlo la necesidad de reducir la emisión de gases de efecto

<sup>35</sup> Ibíd.

invernadero –GEI–, la necesidad de reducir la dependencia en combustibles importados o la presión de atender incrementos en la demanda mediante nueva capacidad instalada con base en recursos domésticos.

A su vez, al contar con recursos fósiles abundantes en materia de carbón y posibles yacimientos de gas y petróleo aún no explotados, el país no pareciera enfrentar la inminente necesidad de acudir a recursos y tecnologías no convencionales como sí lo han empezado a hacer países en un contexto energético o socioeconómico similar al de Colombia, como es el caso de Brasil, Argentina, México, Chile, Perú y otros países del vecindario latinoamericano.

Las anteriores condiciones fundamentan la tradicional percepción del sector energético colombiano en términos generales, razón por la cual el país no ha buscado de manera decidida el desarrollo de energías renovables no convencionales hasta el momento. Sin embargo, al día de hoy, las tendencias en reducción de costos y mitigación de riesgos asociadas con las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, FNCER, sumadas a las experiencias exitosas y desarrollos técnicos alcanzados internacionalmente y la presencia local de agentes con proyectos y prospectos novedosos para el contexto colombiano, ya han empezado a sentar las bases que justifican la adopción de una estrategia para el desarrollo de las FNCER en Colombia. A continuación, se presentan algunos de los motivos que, según una visión internacional experta, motivan la promoción de estas fuentes a nivel nacional.

**Riesgo asociado a la energía hidroeléctrica:** La alta dependencia de Colombia en sus recursos hidroeléctricos pone al país en riesgo periódico de escasez y altos precios de la energía, como fue evidenciado en la crisis energética generada por el fenómeno de El Niño en los años 1992 y 1993 o más recientemente en los altos precios de energía experimentados en 2009, 2010, 2013 y 2014. Más aún, análisis recientes han pronosticado que la vulnerabilidad a las sequías crecerá significativamente en Colombia debido al cambio climático<sup>36</sup>. Entre tanto, existen en el mundo ejemplos de otros países que dependen de sus embalses y plantas de generación hidroeléctrica, los cuales han tenido que enfrentar continuas crisis energéticas a causa de sequías y del crecimiento de su demanda. Colombia podría actuar estratégicamente para protegerse contra los riesgos derivados de la dependencia en recursos hidroeléctricos, a través del desarrollo y uso de otras energías renovables en lugar de procurar la expansión de su parque de generación térmica con base en combustibles fósiles, que actualmente depende principalmente de gas natural.

---

<sup>36</sup>CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA, “Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia”, 2010.

**Aumento en los precios de la electricidad y el gas natural:** En Colombia durante los últimos años el precio de la energía eléctrica ha venido aumentando, existen diversas tendencias que pueden estar contribuyendo a la formación de estos altos precios del mercado. Por ejemplo, en adición a la periódica disminución en la producción de energía hidroeléctrica, las proyecciones de precios del gas natural comercializado en la costa y el interior del país prevén incrementos de más del 40% para 2030 (respecto a 2014)<sup>37</sup>.

Actualmente, Colombia está construyendo una planta de regasificación de gas natural para proveer a los generadores ubicados en el norte del país a partir del año 2017 o 2018, momento en el cual se espera que la demanda interna de este combustible supere la oferta doméstica, lo cual incrementará los costos para el suministro de este energético. Por consiguiente, la volatilidad del mercado internacional sumada a las inversiones requeridas en términos de infraestructura a ser desarrollada para la importación del gas natural, muy seguramente pondrá presión adicional al alza en los precios del mercado mayorista.

Entre tanto, consumidores de energía a gran escala, como es el caso de la industria, están buscando soluciones alternativas a nivel minorista para disminuir sus facturas de electricidad de manera sostenible, y la energía renovable podría ser parte del portafolio de soluciones.

**Oportunidad de desarrollo económico:** Aunque algunos países acuden a las energías renovables principalmente por razones de independencia energética y motivaciones ambientales, otros países acuden a ellas a raíz de políticas industriales de desarrollo económico. Esto es porque la energía renovable instalada in situ puede proveer a los negocios e industrias una oportunidad significativa de generar ahorros en energía, contrarrestar la volatilidad de precios de los combustibles fósiles, y competir más efectivamente internacionalmente.

La economía colombiana ha crecido a una buena tasa durante la última década (tasa del 4% anual en promedio). Las exportaciones se han cuadruplicado, la inversión extranjera directa ha crecido en un factor de ocho, y el país ha sido reiterativamente elevado en categoría de inversión por agencias internacionales de calificación<sup>38</sup>. De apoyar la energía renovable de una manera estratégica, Colombia podría agregar un impulso adicional a su crecimiento económico al reducir los costos de energía para importantes sectores industriales, siempre y cuando se desarrollen proyectos competitivos con respecto a las condiciones de los mercados.

---

<sup>37</sup> Op. Cit. GIRALDO, J., VESGA, L. “Energía Geotérmica y la Explotación de Yacimientos Hidrocarburos: Oportunidades para una Mutua Transferencia de Tecnología”, Universidad Industrial de Santander, 2015.

<sup>38</sup> Op. Cit. REYKJAVÍK UNIVERSITY. Sustainable Energy MSc. Disponible en: <http://en.ru.is/ise/programmes/sustainable-energy/>.

**Tendencia de precios de la energía renovable:** En los últimos años, el desarrollo de las tecnologías asociadas a la transformación de energías renovables ha sorprendido de manera sostenida a los analistas internacionales en materia de la velocidad y la rata con la que sus costos han venido reduciéndose. La tabla 13, tomada del documento de la UPME presentada a continuación, contiene en su segunda columna las proyecciones realizadas por diferentes organizaciones entre 1996 y 2000 con respecto al futuro crecimiento de las energías renovables, la tercera columna muestra el desarrollo real del mercado, en donde es posible observar cómo diferentes entidades de reconocimiento mundial desestimaron en su momento de forma significativa el crecimiento en el uso de estas fuentes.

**Tabla 13. Proyecciones de la energía renovable de 1996-2000 vs. Desarrollo real del mercado**

Organización (año)	Proyección	Real
IEA (2000)	3% de energía renovable a nivel global (sin incluir hidroeléctricas) en 2020	3% alcanzado en 2008
IEA (2000)	30 GW de eólica a 2010	200 GW a 2010
Greenpeace (1999)	180 GW eólica global a 2010	198 GW a 2010
EPIA (2000)	2 GW de solar FV en Europa a 2010	29 GW de solar FV a 2010
Banco Mundial (1996)	8,5 GW de eólica en China a 2020	45 GW de eólica a 2010

**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015

Dadas estas tendencias en materia de costos y ante el potencial de recursos renovables que se tienen disponibles a nivel nacional, se puede decir que el contexto actual es el adecuado para que las autoridades responsables de la formulación de política en Colombia dediquen esfuerzos al fomento de estas tecnologías que podrán traer beneficios de mediano y largo plazo al país, a través del establecimiento de lineamientos de política que se traduzcan en un marco normativo y regulatorio favorable para su participación.

**3.2.2.3 Desarrollo de la energía geotérmica en Colombia** Si bien Colombia no es uno de los países con mayor potencial para el aprovechamiento del recurso geotérmico, sí cuenta con zonas específicas como lo son la zona volcánica del Nevado del Ruiz y la región de influencia de los volcanes Chiles, Cerro Negro y Azufral en la frontera con Ecuador, zonas

en las que el recurso puede ser aprovechado para la generación de decenas de MW a muy bajos costos de producción y operación. Sin embargo, el principal reto para el desarrollo de este tipo de proyectos yace en el riesgo y costos asociados a las etapas de exploración, y en la necesidad de establecer un marco regulatorio adecuado para la administración de este recurso que hasta el momento no ha sido explotado en Colombia.

De acuerdo con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2013)<sup>39</sup> el potencial para desarrollo de generación eléctrica a partir del recurso geotérmico en Colombia por ahora se estima en el orden de 1 a 2 GW.

Desde finales de la década de los 70, se vienen adelantando en Colombia estudios para identificar las zonas de alto potencial para el desarrollo de este tipo de proyectos, y hoy en día dos de las grandes empresas generadoras nacionales tienen firmes proyectos en etapas de licenciamiento ambiental para la exploración y explotación del recurso. Sin embargo, actualmente Colombia no cuenta con generación eléctrica aprovechando la geotermia. A pesar de que en el país se han realizado diversos estudios desde la década del 70 sobre el potencial geotérmico y de la existencia de políticas de estado para promover este tipo de tecnologías, ésta aún no se ha desarrollado.

El Servicio Geológico Colombiano (Antes INGEOMINAS), consciente de la importancia de la geotermia, ha realizado grandes esfuerzos por inventariar y caracterizar el recurso. De manera independiente una empresa del sector de energía adelantó en los años 90 una perforación de un pozo exploratorio de geotermia, en la zona del Nevado del Ruiz, sin ningún éxito.

A partir del año 2008 ISAGEN inicia una serie de estudios técnicos con el fin de promover y desarrollar esta tecnología, los estudios adelantados por ISAGEN se pueden resumir como sigue:<sup>40</sup>

1. Estudio del potencial de generación geotérmica en Colombia. ISAGEN 2008–2009. BOSTON PACIFIC INC, con el apoyo financiero de la Agencia para el Desarrollo del Comercio de los Estados Unidos de América (USTDA). Mediante este estudio se seleccionaron y priorizaron las áreas con mayor potencial geotérmico en el país. Se definieron los estudios requeridos para dar continuidad al desarrollo de la geotermia en dos áreas específicas.

---

<sup>39</sup> ORGANIZACIÓN LATINO AMERICANA DE ENERGÍA - OLADE, “El Camino a seguir para la ampliación de proyectos de energía renovable en América Latina y el Caribe”, 2013.

<sup>40</sup> Op. Cit. LEE, K.C. “Classification of Geothermal Resources, An Engineering Approach”, Geothermal Institute at the University of Auckland, 1996.

2. Proyecto de investigación: Modelamiento del sistema hidrotermal magmático en áreas con potencial geotérmico en el Macizo Volcánico del Ruiz, Colombia. ISAGEN 2010–2012, con el apoyo técnico y científico del departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; el Servicio Geológico Colombiano (antes Ingeominas) y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). Los estudios incluyeron la toma de fotografías aéreas y restitución cartográfica, el levantamiento de la geología de detalle y alteraciones hidrotermales, los estudios de geoquímica, hidrogeología, geofísica (gravimetría y magnetometría) y la perforación de pozos de gradiente térmico, así como la elaboración de una primera aproximación al modelo hidrotermal magmático del área de estudio.
3. Proyecto de investigación: Modelo resistivo del subsuelo con sondeos de magnetotelúrica (MT) en un sector del área de estudio. ISAGEN 2011–2012, con el apoyo técnico y científico del Servicio Geológico Colombiano, el Centro Internacional de Física (CIF); La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y COLCIENCIAS. Mediante esta investigación se realizaron 105 sondeos de MT en un sector de las zonas de interés y se elaboró para esta área el modelo resistivo del subsuelo.
4. Estudio de prefactibilidad para el Campo Geotérmico del Macizo Volcánico del Ruiz. ISAGEN, BID. 2011–2013. Consorcio Nippon Koei, Geothermal E. Intergal S.A. Integración de la información de los estudios básicos y modelos, elaboración del modelo geotérmico conceptual. Selección de blancos de perforación, diseño de pozos de exploración, elaboración del estudio de impacto ambiental y el plan de desarrollo del campo.
5. Inversiones catalizadoras para energía geotérmica Colombia. ISAGEN – Banco Interamericano de Desarrollo (BID/FMAM), 2011–2014. Complementación del modelo resistivo del subsuelo mediante sondeos de magnetotelúrica. Asesoría y acompañamiento para la fase de perforación exploratoria y asesoría para la estructuración financiera del proyecto.

Como se puede evidenciar, el avance de los diferentes proyectos se debe al esfuerzo conjunto de varias entidades nacionales e internacionales, consultores y expertos internacionales que han contribuido a desarrollar los proyectos y a la construcción de la capacidad nacional y regional para el desarrollo de la geotermia. Este esfuerzo se puede ver reflejado en el emprendimiento de un nuevo proyecto de geotermia de carácter binacional, entre Ecuador y Colombia que se localiza en la frontera entre los dos países, cerca de los volcanes de Chiles, Tufiño y Cerro Negro; proyecto en el cual se están aplicando las experiencias y el

conocimiento adquirido en la ejecución del proyecto geotérmico del Macizo Volcánico del Ruiz.

### 3.3 PROSPECTIVA DE LA GEOTERMIA EN COLOMBIA

**3.3.1 Estrategias para desarrollar fuentes de energía renovable no convencionales:** A partir de la previa recopilación de información y al estado actual de la energía geotérmica y otras fuentes de energía en Colombia, podría inferirse que históricamente el gobierno colombiano ha desempeñado un comportamiento despreocupado frente al fomento del desarrollo e implementación de técnicas para el aprovechamiento del recurso geotérmico, al igual que el de otros recursos energéticos renovables. Sin embargo, en el año 2014 el país asumió la importante tarea de establecer una primera aproximación hacia la adopción de estrategias y políticas para la utilización de las fuentes no convencionales de energía, así como la creación de un marco de incentivos a los interesados en apoyar el emprendimiento de este tipo de recursos en la ley 1715 de 2014; los aspectos más relevantes de la razón de ser de esta ley se muestran en la Tabla 14:

Adicionalmente a los objetivos de esta reglamentación expuestos en la Tabla 15, también se reconoció la necesidad de utilizar con mayor intensidad los recursos de energías renovables para otros sectores distintos a la generación de electricidad y en los que se desplace el uso de combustibles fósiles, entendiendo dentro de éstos el sector transporte, industria y los sectores residencial, comercial y público. Para cumplir esta iniciativa, se entienden como posibles medios la incorporación paulatina de la electro-movilidad, la utilización de la biomasa y sus derivados como combustibles, y el uso incremental de energía solar térmica, geotérmica, de viento.

**Tabla 14. Objetivos de la Ley 1715 de 2014**

Sección	Información disponible en el documento de la ley
Objeto	“Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el Sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético”
Artículo 4	Esta ley buscará: “La promoción, estímulo e incentivo al desarrollo de las actividades de producción y utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, se declara como un asunto de utilidad pública e interés social, público y de conveniencia

	nacional, fundamental para asegurar la diversificación del abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección del ambiente, el uso eficiente de la energía y la preservación y conservación de los recursos naturales renovables”
Artículo 2	Dentro de sus finalidades, la ley incluye:  “Orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano”  “Fijar las bases legales para establecer estrategias nacionales y de cooperación que contribuyan al propósito de la ley”

**Fuente:** COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá D.C. 2014

Del mismo modo en que la Ley 1715 de 2014 reconoce la necesidad y propone objetivos que guiarán al país hacia la incorporación de recursos renovables no convencionales a su fórmula energética, ésta plantea algunos elementos e instrumentos de diferente tipo que facilitarán el cumplimiento de dicha meta. A continuación, se muestra un condensado de los instrumentos mencionados anteriormente, divididos en tres categorías (los de carácter económicos: orientados a mejorar los resultados económicos de los proyectos a ser emprendidos; de carácter normativo: orientados a viabilizar y facilitar la construcción y operación de proyectos, y un último grupo de elementos de diversa índole), así como las entidades responsables para la ejecución de los mismos.

**Tabla 15. Instrumentos de carácter económico dispuestos por la ley 1715 de 2014**

Tipo de instrumento o elemento	Descripción	Entidades Responsable
--------------------------------	-------------	-----------------------

<b>Incentivos fiscales</b>	1. Reducción anual de la renta por valor equivalente al 50% de la inversión, durante 5 años, sin superar el 50% de la renta líquida. 2. Exclusión de IVA a equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados para producción, utilización y medición/ evaluación. 3. Exención de aranceles para maquinaria, equipos, materiales e insumos no producidos nacionalmente. 4. Depreciación acelerada de maquinarias, equipos y obras.	MME, MADS, MHCP, DIAN, MCIT, UPME
<b>Disposiciones de mercado</b>	5. Habilitación a la entrega de excedentes por parte de autogeneradores. 6. Esquema de medición bidireccional y créditos de energía para excedentes provenientes de autogeneración a <i>pequeña</i> escala con FNCER. 7. Valoración de los beneficios ocasionados por la generación distribuida, a ser incorporados en la respectiva remuneración.	CREG, UPME
<b>Mecanismos de financiamiento</b>	8. Creación del FENOGE (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía). 9. Prolongación del FAZNI hasta 2021.	MME

Nota: MME (Ministerio de Minas y Energía), MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), MHCP (Ministerio de Hacienda y Crédito Público), DIAN (Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales), MCIT (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia), UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas).

**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

**Tabla 16. Instrumentos de carácter normativo dispuestos por la ley 1715 de 2014**

Tipo de instrumento o elemento	Descripción	Entidad Responsable
--------------------------------	-------------	---------------------

<p><b>Disposiciones técnicas</b></p>	<p>10. Análisis de condiciones propias asociadas a la producción de energía a partir de las FNCER solar, eólica, geotérmica y biomasa para efectos de emitir reglamentaciones técnicas.</p> <p>11. Procedimientos y requerimientos técnicos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía proveniente de autogeneradores y generadores distribuidos.</p> <p>12. Obligatoriedad para la utilización de subproductos y residuos de las masas forestales en zonas de silvicultura, aprovechamiento con fines energéticos de biomasa agrícola inutilizada, y fomento de repoblaciones forestales con fines exclusivamente energéticos.</p> <p>13. Determinación de tipologías de residuos de interés energético y reglamentación para el uso, valoración y certificación de energéticos derivados de residuos biomásicos.</p>	<p>MADS y ANLA</p>
<p><b>Disposiciones ambientales</b></p>	<p>14. Definición de parámetros y criterios ambientales a ser cumplidos por proyectos con FNCER, de acuerdo con cada fuente o tecnología.</p> <p>15. Definición de ciclo de evaluación rápido para proyectos con FNCE.</p>	<p>MADS y ANLA</p>

Nota: MADS (Ministerio de Ambiente y ANLA (Agencia Nacional de Licencias Ambientales).

**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

El último grupo de instrumentos propuestos por la Ley 1715 de 2014 consta de elementos de diversa índole que incluyen el compromiso por parte del gobierno colombiano de asumir una postura ejemplar para el fomento del uso de fuentes de energía renovable no convencionales en las actividades cotidianas, el fomento a través de fondos de investigación gubernamentales para el desarrollo de nuevas tecnologías de geotérmica y recursos asociados al mar, la divulgación en la comunidad de los beneficios y aspectos relacionados con las fuentes de energía renovable y la mejor estructuración de las llamadas Zonas No Interconectadas (ZNI).

**Tabla 17: Otros instrumentos dispuestos por la ley 1715 de 2014**

<b>Tipo de instrumento o elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Entidad Responsable</b>
<b>Fomento desde la demanda</b>	16. Adopción o ejercicio de acciones ejemplarizantes de parte del Gobierno Nacional y el resto de administraciones públicas para el desarrollo de las FNCE. 17. Fomento del aprovechamiento solar en urbanizaciones, edificios oficiales, industria y comercio.	MME, MADS y MVCT
<b>Investigación científica y exploración</b>	18. Subvenciones y otras ayudas para programas de investigación y desarrollo, coordinados a través del Sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación -SNCTI- de Colciencias, y el establecimiento de cooperación en esta materia, de manera inscrita en el marco de planes y programas nacionales en torno al desarrollo de las FNCE. 19. Disposición para apoyar la exploración e investigación de potenciales energéticos geotérmicos y de los mares.	COLCIENCIAS
<b>Divulgación</b>	20. Programas de divulgación masiva y focalizada para informar al público sobre requisitos, procedimientos, beneficios y potenciales para desarrollar proyectos.	UPME
<b>Elementos ZNI (Zonas No Interconectadas)</b>	21. Conformación de áreas exclusivas y otros esquemas empresariales. 22. Incentivos para la sustitución de diésel. 23. Administración y utilización de recursos del FAZNI y FENOGE con criterios de costo-efectividad, productividad, sostenibilidad, etc.	MME y CREG

Nota: MME (Ministerio de Minas y Energía), MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), MVCT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Desarrollo), COLCIENCIAS (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación), UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas).

**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

A través de esta ley se propone un avance en el desarrollo de tecnologías y políticas que desencadenen la diversificación de las fuentes de energía en el territorio colombiano.

**3.3.2 Retos y barreras para el desarrollo de la geotermia** En la actualidad, Colombia cuenta con algunos proyectos de mediana escala (del orden de 50 MW)<sup>41</sup> para el aprovechamiento del recurso geotérmico, principalmente a través de la generación de energía eléctrica que se encuentran en etapa de gestión para licenciamientos ambientales. Sin embargo, la puesta en marcha y desarrollo con éxito de estos proyectos está condicionado por algunas barreras que una sinergia entre el estado, los entes educativos, la inversión extranjera y otros entes participantes deberá enfrentar en los próximos años.

De acuerdo a un reporte realizado por la empresa ISAGEN<sup>42</sup>, los retos que la industria geotérmica deberá superar en los próximos años se focalizan en temas de capacitación, apoyo financiero de los proyectos, confiabilidad de los inversionistas, firmeza de la normativa vigente y asuntos relacionados con las comunidades e infraestructura del país, como se muestra a continuación:

- El aprovechamiento de la geotermia requiere contar con el apoyo de consultoría especializada, ya que su desarrollo demanda estudios exhaustivos para la caracterización y modelamiento del recurso.
- El país cuenta con una capacidad técnica y científica limitada para el desarrollo del recurso geotérmico, razón por la cual se requiere implementar planes y programas de capacitación a nivel técnico-científico en las diferentes disciplinas requeridas.
- Las etapas preliminares de exploración implican cuantiosas inversiones, con un alto nivel de riesgo y, por tanto, requieren de apoyo financiero o el acceso a mecanismos que permitan realizar la cobertura de riesgo respectiva.
- Las áreas con potencial geotérmico se localizan en zonas volcánicas, con infraestructura limitada para el acceso y la conexión al Sistema de Transmisión Nacional (STN), por lo cual es necesario realizar inversiones cuantiosas de manera adicional al desarrollo geotérmico.
- Los costos de exploración de la geotermia y la instalación de la infraestructura requerida para la generación de energía eléctrica son altos, lo cual puede dificultar su ingreso y competitividad en el mercado.
- No se cuenta con una normatividad específica para el desarrollo geotérmico, por lo cual se requiere realizar ajustes a la normatividad vigente, para permitir el desarrollo y el aprovechamiento del recurso geotérmico de una manera armónica y ordenada.

---

<sup>41</sup> *Ibíd.*

<sup>42</sup>Op. Cit. ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

- Se requiere adecuar la regulación del mercado de energía, de manera que se reconozcan los aportes de la geotermia a la confiabilidad y firmeza del sistema eléctrico.
- Es importante capacitar a la comunidad, con el objeto dar a conocer los beneficios y los riesgos reales asociados al uso del recurso geotérmico.

Por su parte, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) realizó un estudio para la inclusión de fuentes de energías renovables no convencionales dentro de la fórmula energética de Colombia, con el patrocinio del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)<sup>43</sup>, en el cual se identificaron las cuatro barreras principales para el desarrollo de los recursos geotérmicos.

**Tabla 18: Barreras identificadas para el desarrollo de la ingeniería geotérmica**

Barrera	Descripción
<b>Licenciamiento</b>	No existen procesos de licenciamiento y concesión del recurso geotérmico claramente definido, en el cual se consideren las etapas y riesgos de inversión asociados con este tipo de desarrollos. Esto se debe a que no se ha desarrollado aún el primer proyecto de este tipo en Colombia. De acuerdo con el Código de Recursos Naturales de 1974 y las disposiciones de la ANLA a este respecto (Decreto 2041 de 2014), el operador puede aplicar para la obtención de una licencia exploratoria, mas no son claros los términos de exclusividad o temporalidad bajo los cuales le puede ser otorgada una concesión para el uso del recurso. Esto representa un alto riesgo para el inversionista.
<b>Inflexibilidad y Desviaciones</b>	Teniendo en cuenta que los proyectos geotérmicos a ser desarrollados en Colombia corresponden en promedio con capacidades mayores a 20 MW, la condición de planta “despachable” y la penalización por desviaciones hoy en día asociadas a este tipo de plantas podría afectar la participación de la fuente en el mercado.
<b>Riesgo</b>	Las fases de estudio y exploración del recurso geotérmico pueden ser asimiladas con los procesos de exploración de hidrocarburos, que se caracterizan por altos costos a raíz de las relativamente bajas probabilidades de éxito y el riesgo asociado con la actividad.
<b>Conocimiento</b>	Aunque existe amplia experiencia internacional en el desarrollo de proyectos geotérmicos, en Colombia no se cuenta con la experiencia o capacidad probada para el desarrollo de tal tipo de proyectos.

**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

Para la determinación de la importancia e impacto de cada una de las barreras identificadas, se definieron algunos criterios de evaluación descritos en la Tabla 19, como sigue:

<sup>43</sup> Op. Cit. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

**Tabla 19: Calificación cuantitativa de cada aspecto evaluado**

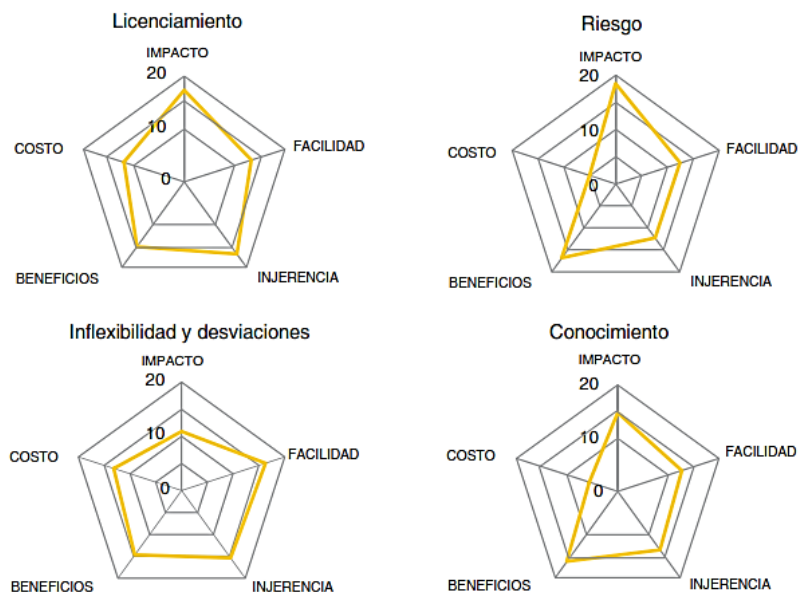
Aspecto	Descripción	Calificación	Explicación de la calificación	Valor
<b>Impacto</b>	El impacto de la barrera en el desarrollo del aprovechamiento de la fuente.	Definitivo	La barrera impacta totalmente, impidiendo el desarrollo del aprovechamiento de la fuente.	14-20
		Moderado	La barrera disminuye moderadamente la viabilidad de implementar la tecnología.	8-13
		Marginal	La existencia de la barrera no influye notablemente en la implementación de la tecnología, pero su remoción la beneficia.	1-7
<b>Facilidad</b>	Grado de facilidad asociado con la implementación de posibles soluciones para la remoción de la barrera	Necesidad de ajustar normas existentes	La barrera depende de una reglamentación o sencillo ajuste al modelo de regulación económica	14-20
		Necesidad de cambios de política y normas asociadas	Se requiere de nuevos lineamientos de política que permitan producir elementos regulatorios o normativos para eliminar la barrera	8-13
		Se requieren cambios en la ley, políticas y normatividad asociada	Se requiere realizar cambios a nivel de leyes para lograr abordar la barrera	1-7
<b>Injerencia</b>	Rol o nivel de injerencia que juega el estado en la eliminación de la barrera	Alta	La remoción de la barrera completamente del Estado.	14-20
		Medio	La remoción de la barrera depende del mercado, pero el Estado cuenta con herramientas de influencia.	8-13
		Baja	La superación de la barrera depende únicamente del mercado o actores externos	1-7
<b>Beneficios</b>	Beneficios a ser logrados a través de la remoción de la barrera	Altos	A través de la remoción de la barrera se promoverá la diversificación del mix energético, aumento de la cobertura y de la competitividad	14-20
		Moderados	A través de la remoción de la barrera se impulsará la electrificación rural y/o el aumento de eficiencia y modernización del sistema eléctrico.	8-13
		Marginales	La remoción de la barrera se permite beneficios secundarios (reducción de emisiones, eficiencia energética, etc.)	1-7
<b>Costo</b>	Costos en los que resulta necesario incurrir para remover la barrera	Bajo	Los costos requeridos para la implementación de posibles soluciones son bajos	14-20
		Medio	Los costos asociados con posibles soluciones para remover la barrera son moderados	8-13
		Alto	Los costos requeridos para remover la barrera son muy altos	1-7

**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

Para una evaluación cuantitativa de la relevancia de cada una de las cuatro barreras identificadas se tuvieron en cuenta algunos criterios igualmente explicados en la Tabla 19, de modo que un puntaje total que representa la importancia o prioridad de cada una de las barreras fue calculado a partir de los mismos (asumiendo que todos los criterios de calificación tienen igual importancia). A continuación, se compilan y definen las barreras que presenta la industria geotérmica en orden de prioridad, basado en el puntaje asignado a las mismas.

En la figura 9 se ilustra la influencia de cada aspecto de evaluación sobre la importancia total de cada una de las barreras que la industria geotérmica enfrenta en el desarrollo de la misma.

**Figura 9: Barreras identificadas para el desarrollo de la ingeniería geotérmica**



**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

Como se puede ver en los retos que enfrenta la industria geotérmica para su avance en Colombia, identificados en los estudios realizados por la compañía ISAGEN y la UPME, existe un descuido por parte de los gobernantes de turno en cuanto al fomento para el emprendimiento de este recurso, aspecto confirmado por la notable falta de legislación y normatividad ambiental, así como la deficiente inversión en proyectos y campañas de exploración que permitan evaluar los recursos disponibles y la falta de apoyo y promoción para la creación de programas de educación superior y la capacitación en el área.

En lo que concierne a la falta de conocimiento como una barrera para el desarrollo de la geotérmica en Colombia, aspecto que tiene íntima relación con el objeto del presente proyecto, y de acuerdo con la Figura 9, se puede afirmar que los beneficios e impactos de sobrepasar este reto son muy positivos; a su vez, aunque existe una necesidad de producir cambios de política y normas para este propósito, es el país quien tiene el rol fundamental en esta tarea; adicionalmente, el costo para la superación de esta situación es alto.

Es posible inferir a partir de los dos estudios citados anteriormente y la situación actual de la industria geotérmica en Colombia que existe una evidente carencia de profesionales capacitados en las distintas áreas involucradas en los proyectos de este tipo; frente a esta situación, las estrategias que han demostrado tener un mayor impacto positivo son:

- Enfatizar la transferencia de tecnología con áreas afines tales como: Ingeniería de Petróleos, Geología, Geociencias, Ingeniería Eléctrica, entre otras.
- Incentivar la capacitación de profesionales especializados en países donde el estado actual de la industria geotérmica y las tecnologías empleadas son más avanzadas.
- Crear programas de educación superior y centros de investigación enfocados en el área en mención dentro del territorio nacional.

**3.3.3 Estrategias para el desarrollo de la geotermia** Con el fin de superar el conjunto de retos identificados que enfrenta la intención de desarrollo de diversas fuentes de energía geotérmica, algunas acciones futuras y reglamentaciones deben ser implementadas para el exitoso desarrollo de las mismas. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se cita el resultado de un trabajo interdisciplinario encabezado por la UPME<sup>44</sup>, en el cual se establecieron las siguientes líneas de acción como estrategias para superar los retos que enfrenta el desarrollo de la industria geotérmica en Colombia.

- Mesa Interinstitucional: Como se describió previamente, uno de los mayores frenos para el desarrollo de la industria geotérmica está fundamentado en los riesgos que enfrentan los potenciales inversionistas y desarrolladores con la actual normativa para el licenciamiento y concesión de proyectos en las etapas de exploración y explotación del recurso. Conforme a lo anterior, se hace necesario esclarecer la perspectiva que tienen diferentes autoridades con competencia o injerencia sobre el desarrollo de este recurso, de modo que la primera estrategia consiste en la constitución de una mesa

---

<sup>44</sup> Op. Cit. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

interinstitucional en la que participen el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), en la que se discutan y definan las acciones a ser acometidas por cada entidad en acato a lo establecido por el artículo 21(2) de la Ley de 1715, en la que se establece entre otras cosas que “el Gobierno pondrá en marcha instrumentos para fomentar e incentivar los trabajos de exploración e investigación del subsuelo para el conocimiento del recurso geotérmico y fomentar su aprovechamiento de alta, baja y muy baja temperatura”. También se propone que se defina una agenda de trabajo que establezca las actividades a ser desarrolladas por algunas de estas entidades o las acciones a ser ejecutadas con el fin último de consolidar un marco normativo específico que dé certeza a los agentes interesados en desarrollar proyectos en zonas de alto potencial, respecto a las condiciones bajo las cuales estarán habilitados para desarrollar proyectos geotérmicos.

- Reducción del Riesgo de Carácter Normativo: Siguiendo con el tema normativo, se propone analizar la posibilidad de darle al recurso geotérmico un tratamiento explícito similar al que se da en el caso de los hidrocarburos, para los cuales, conforme lo dicta el parágrafo 1 del artículo 8 del Decreto 2041 de octubre de 2014 se “establece que para los proyectos de hidrocarburos en donde el área de interés de explotación corresponda al área de interés de explotación corresponda al área de interés de exploración previamente licenciada, el interesado podrá solicitar la modificación de la licencia de exploración para realizar las actividades de explotación”. Esto es requerido, ya que en la reglamentación vigente no se especifica con claridad los requerimientos de licencia ambiental al tratarse de proyectos geotérmicos.
- Consolidación de un Marco Regulatorio Específico: Algunos potenciales desarrolladores de proyectos han manifestado dificultades para poder incurrir en las inversiones necesarias para la exploración del recurso, a raíz de, como se ha mencionado previamente, la incertidumbre que genera el no contar con un mecanismo explícito que ofrezca la garantía de que dicho recurso podrá ser explotado por quien realiza la inversión en la exploración, una vez culminada con éxito tal etapa. A través de la consolidación de tal marco normativo y reglamentario se busca entonces disminuir el riesgo del inversionista en la medida en que ello resulta posible siempre que se conserven como objetivos definidos el de propiciar el desarrollo de este tipo de proyectos, pero a la vez salvaguardar la protección del medio ambiente circundante y los ecosistemas ubicados en las áreas de influencia de las zonas a ser exploradas y eventualmente utilizadas para la extracción, uso y reinyección del recurso. En tal sentido se pretende que el marco a ser emitido contenga una serie de criterios utilizados para la determinación de tal viabilidad, e igualmente se plantea la

consideración de los marcos normativos de múltiples países que han desarrollado el campo de la energía geotérmica (como se presenta en el Anexo 4) a fin de determinar las prácticas que pueden ser mejor ajustadas al marco legal y regulatorio colombiano.

- **Definición de los Requerimientos Específicos de Carácter Técnico-Ambiental:** En caso que entidades como el MADS y la ANLA consideren necesario adelantar mayores esfuerzos para la definición de criterios que permitan determinar la viabilidad ambiental de este tipo de proyectos, teniendo en cuenta su inmediatez a áreas de particular interés ambiental, se recomendaría acudir formalmente a la solicitud de asistencia técnica a modo de cooperación por parte de la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA, dado el trabajo que desde el año 2013 esta agencia ha venido desarrollando para estudiar y fomentar el aprovechamiento de la energía geotérmica en los países andinos.
- **Alianzas Conjuntas para Compartir Riesgo:** Finalmente, como una medida para abordar el tema del riesgo asociado con la etapa exploratoria del recurso, se propone que por parte de los agentes desarrolladores se exploren alternativas de alianza conjunta o joint ventures con capitales extranjeros, preferiblemente con empresas multinacionales con experiencias en el desarrollo de este tipo de proyectos, para compartir el riesgo asociado. Finalmente, en lo que a la intervención del Gobierno Nacional en la mitigación de este riesgo se refiere, como lo sugieren los resultados presentados en el capítulo 4, la aplicación de los incentivos de deducción de renta aplicables a este tipo de proyectos, desarrollados por grandes compañías, durante períodos largos de tiempo (del orden de 5 a 7 años), bajo el concepto de financiamiento corporativo, reducirían de manera representativa la carga impositiva de los inversionistas, representando de manera indirecta subvenciones del Estado que estarían contribuyendo a hacer este tipo de proyectos atractivos a pesar del riesgo involucrado.

**3.3.4 Comportamiento proyectado de la explotación geotérmica** A continuación, se muestra el pronóstico de la producción de la explotación de diversas fuentes de energía renovables no convencionales hasta el año 2030; esta prospectiva está basada en el estudio liderado por la UPME<sup>45</sup>, el cual presenta una gran posibilidad de ocurrencia en Colombia, y se incluye la energía geotérmica como uno de los recursos de bastante importancia. Este escenario asume las siguientes situaciones:

- Buen funcionamiento de la Ley 1715 de 2014, la cual promueve la inclusión de fuentes de energía renovables no convencionales a la fórmula energética nacional.

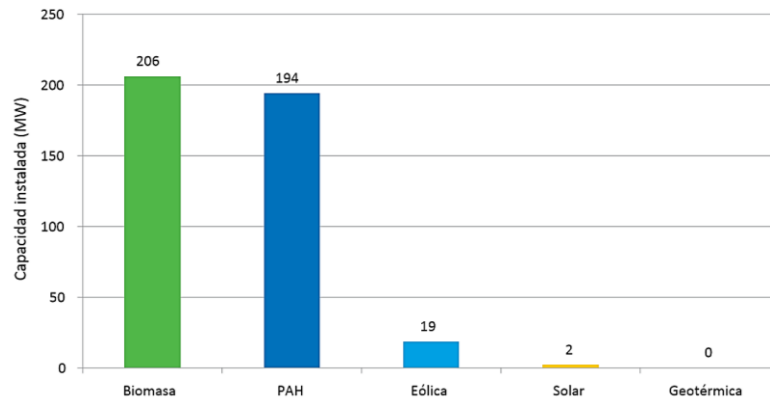
---

<sup>45</sup> Op. Cit. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

- Diseño y puesta en marcha de los procedimientos y mecanismos para acceder a los incentivos de inversión a proyectos de estas fuentes de energía.
- Acceso a los beneficios de inversión a pequeños y grandes inversionistas.
- Diseño e implementación de políticas que faciliten la conexión de pequeños sistemas autogeneradores con redes de distribución.
- Creación de esquemas que reconozcan favorablemente los créditos de energía a partir de los excedentes inyectados por pequeños autogeneradores en las redes de distribución.
- En el caso de la generación distribuida, reconocimiento de los beneficios producidos a la red en términos de disminución de pérdidas, aumento en la vida útil de los activos de transmisión y distribución y soporte de energía reactiva.
- Se prevé la eliminación de un mínimo Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE) como criterio necesario a cumplirse para que un cogenerador pueda entregar y comercializar excedentes de electricidad. (El REE hace referencia a un mínimo de generación que deben cumplir actualmente los pequeños cogeneradores para poder entregar y comercializar sus excedentes de energía eléctrica).
- El punto de partida de la prospectiva es el año 2015, el cual se basa en la capacidad de producción que existía a finales del año 2014. Este valor es igual a 420 MW correspondientes a 194 MW de Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos (PAH), 206 MW de plantas de cogeneración a partir de bagazo de caña (Biomasa), 18,5 MW de Energía Eólica y 2 MW de sistemas Solar FV debidamente identificados en ciudades principales; estas cantidades se ilustran a continuación:

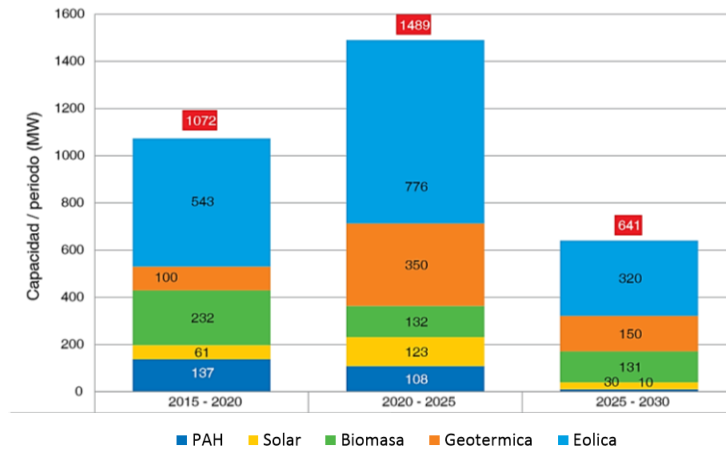
Con base en las anteriores consideraciones, como muestra los resultados proyectados durante el rango de años que abarca desde el año 2015 y hasta 2020 exista el inicio de la generación geotérmica y una expansión que alcanzará los 100 MW de generación a partir de este recurso; posteriormente, una mayor expansión ocurriría entre los años 2020 y 2025, y un incremento muy similar al proyectado para el primer periodo es observado nuevamente en los últimos cinco años del estudio (2025-2030).

**Figura 10: Capacidad instalada de distintas fuentes de energía en 2014**



**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

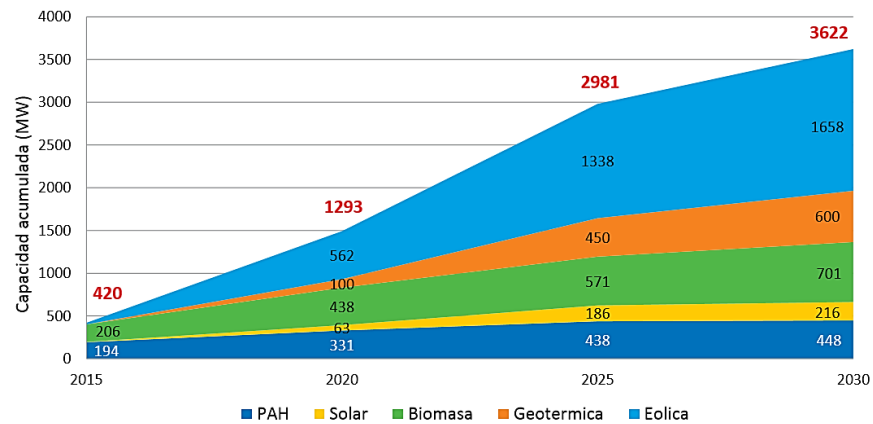
**Figura 11: Capacidad adicional instalada de distintas fuentes de energía en 2014**



**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

Este pronóstico de generación también plantea que el acumulado de generación asociado a fuentes no convencionales de energía renovables en los próximos 15 años alcanzará cerca del 17% de la capacidad total instalada de todo el país, esto gracias a la expansión/adición de capacidad de energía eólica (de 19 MW a 1658 MW), energía geotérmica (de 0 MW a 600 MW), energía a partir de biomasa (de 206 MW a 701 MW), energía solar (de 2 MW a 214 MW) y pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (de 194 a 44MW 8 MW) desde el año 2015 hasta al final del 2030.

**Figura 12: Capacidad adicional Instalada de distintas fuentes de energía en 2014**



**Fuente:** UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

Lo anterior deja al descubierto que la diversificación en la canasta energética de Colombia es inminente y necesaria tanto para la satisfacción de la demanda creciente de electricidad en diferentes sectores, como para la obtención de una estabilidad real en temas de autoabastecimiento energético, el cual debe procurar ser poco sensible a las variaciones climáticas o meteorológicas.

Finalmente es importante resaltar que, como el avance y desarrollo de las tecnologías para la explotación de fuentes de energía relativamente jóvenes para el país: eólica, geotérmica y solar, serán factores clave en el cumplimiento de la prospectiva citada, la investigación y formación especializada de profesionales en estas áreas jugará un papel importante en el progreso del país en términos de autonomía energética durante los próximos años.

#### **4. ASPECTOS ACADÉMICOS Y ADMINISTRATIVOS DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA GEOTÉRMICA**

##### **4.1 DIAGNÓSTICO DE CAPACIDADES INTERNAS**

Con el fin de determinar los recursos disponibles de la Universidad Industrial de Santander para la implementación de un programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica en la Escuela de Ingeniería de Petróleos se realiza a continuación un análisis de algunas de las condiciones mínimas (condiciones que se deben satisfacer con el objetivo de obtener el Registro

Calificado para programas académicos de Educación Superior contemplado en el Decreto 1295 de 2010) que debe poseer la Universidad para ofrecer un programa de maestría, tales como: organización de un modelo de bienestar universitario, medios educativos, infraestructura física, personal docente, entre otros aspectos relacionados con la calidad de los programas.

**4.1.1 Bienestar universitario** La Universidad Industrial de Santander ha definido políticas de Bienestar Institucional que han sido establecidas por el Estatuto General. En dicho documento se define: “La Universidad realizará programas de bienestar universitario, entendidos como el conjunto de actividades que se orientan al desarrollo físico, psicoafectivo y social de los estudiantes, profesores y personal administrativo de la Universidad”.<sup>46</sup>

A nivel institucional la Universidad cuenta con dependencias y organismos asociados encargados de planificar y ejecutar programas y actividades a los diferentes estamentos de la comunidad universitaria tendientes a garantizar su bienestar. Entre estas se encuentra: La División de Recursos Humanos, Dirección Cultural y el Departamento de Deportes y Cultura Física, el Sistema de radio FM/AM. Así mismo las entidades asociadas que corresponden a: CAPRUIS (Caja de Prevención Social de la UIS), FAVUIS (Fondo de Ahorro y Vivienda UIS), FUNDEUIS, COOPRUIS; además destacar la organización de los estudiantes alrededor de los Centros de Estudios, los cuales ofrecen espacios para actividades académicas, deportivas, culturales y sociales, que permiten apoyar el proceso de formación integral de los estudiantes. En el caso de la Escuela de Ingeniería de Petróleos se denomina Asociación Centro de Estudios de Ingeniería de Petróleos (ACEIP).

**4.1.2 Planta profesoral** La docencia como uno de los tres ejes misionales del quehacer universitario sostiene el desarrollo de los programas y el crecimiento profesional y social de los estudiantes. Los profesores con titulación académica deben ser acordes a la naturaleza del programa, equivalente o superior al nivel del programa en que se desempeñarán.

Un núcleo de profesores de tiempo completo con experiencia acreditada en investigación, con formación de maestría y doctorado ofrece la Escuela de Ingeniería de Petróleos (EIP) dentro de su cuerpo docente. A continuación, se relaciona el talento humano con el que cuenta la EIP para el desarrollo de sus actuales maestrías y especializaciones:

---

<sup>46</sup> Estatuto General de la Universidad Industrial de Santander. Acuerdo No. 166 de 1993 del Consejo Superior, Artículo.

**Tabla 20: Cuerpo docente EIP**

Nombre	Áreas de Experticia
M.Sc. Erik Giovany Montes Páez	Producción de hidrocarburos, Ingeniería de gas, Análisis Petrofísicos
Ph.D. German González Silva	Termodinámica de Hidrocarburos, Fenómenos de Transporte
M.Sc. Manuel Enrique Cabarcas Simancas	Ingeniería de Producción de Gas, Facilidades de Superficie
M.Sc. Fernando Enrique Calvete González	Producción de hidrocarburos
M.Sc. Samuel Fernando Muñoz Navarro	Recobro Mejorado, Propiedades de los Fluidos del Yacimiento
Ph.D. Zuly Himelda Calderón Carrillo	Ingeniería de Yacimientos, Geomecánica aplicada a la Industria de los Hidrocarburos
Ph.D. Maika Gambus Ordaz	Simulación de Yacimientos, Registros Eléctricos
M.Sc. Nicolas Santos Santos	Ingeniería de Producción de Gas
M.Sc. Astrid Xiomara Rodríguez	Recobro Mejorado, Propiedades de los Fluidos del Yacimiento
Ph.D. Emiliano Ariza León	Perforación de Pozos, Procesos, Lodos y Cementos y Aseguramiento de Flujo

**Fuente:** Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander.  
 Disponible en: <http://petroleos.uis.edu.co/>

#### 4.1.3 Recursos académicos

**4.1.3.1 Recursos bibliográficos** La Universidad Industrial de Santander dispone de una Biblioteca Central, que posee un área aproximada de 6200 m<sup>2</sup>; con capacidad para albergar 200.000 unidades de material bibliográfico y 1200 lectores en forma simultánea.

Posee aproximadamente 84845 volúmenes de libros, 3947 publicaciones seriadas, 7284 fotocopias de artículos y patentes, 17000 tesis de grado, 697 mapas geológicos, 43 mapas geográficos, 3500 bibliografías, 1800 folletos de archivo vertical, 4044 documentos de producción intelectual, 189730 espectros de compuestos químicos, 741 normas, 600 reportes,

400 directorios, 750 catálogos y alrededor de 2077 títulos de revistas full text y 2.828.272 referenciales en formato electrónico.

La Biblioteca ofrece un portafolio de servicios a sus usuarios, en el cual se destacan:

- Préstamos
- Consulta Base de Datos
- Referencias
- Difusión de Información
- Préstamo Interbibliotecario
- Formación de Usuarios
- Conmutación Bibliográfica

**4.1.3.2 Recursos electrónicos** Según al área de conocimiento al cual pertenecen, las bases de datos ofrecidas por la Biblioteca de la Universidad, pueden dividirse en cuatro grandes categorías:

- Ciencias Básicas y Aplicadas
- Ciencias Sociales y Humanas
- Ciencias de la Salud
- Multidisciplinarias

Estas bases de datos (libros, revistas, artículos), bibliotecas digitales (libros electrónicos), revistas y normas son todos los recursos electrónicos a los cuales tiene suscripción la biblioteca.

**4.1.3.3 Centro de Tecnologías de Información y Comunicación – CENTIC** El CENTIC se enmarca dentro del proyecto interdisciplinario denominado: “Soporte al Proceso Educativo UIS mediante Tecnologías de Información y Comunicación” y tiene los siguientes objetivos generales:

- Ofrecer infraestructura física y tecnológica: para el acceso indiscriminado de la comunidad UIS, a los recursos disponibles a través de la red. El edificio CENTIC da cumplimiento a este objetivo.
- Ofrecer infraestructura para desarrollos científicos y de innovación docente: como el Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) institucional con herramientas ergonómicas basadas en estándares que permitan la implementación de un sistema de educación en línea basado en conocimiento, y el soporte pedagógico y tecnológico necesario para la implementación del portal del profesor y los objetos de aprendizaje que

apoyen la enseñanza/aprendizaje en línea de todas las asignaturas de los programas académicos institucionales.

El CENTIC, ofrece a la comunidad, entre otros, los siguientes servicios:

- Servicio de Internet
- Servicio de Prácticas para diferentes Asignaturas
- Servicio de Prácticas Libres
- Servicios de Impresión y Escáner
- Servicios de Soporte a usuarios de la Comunidad Universitaria

**4.1.4 Recursos de investigación** Las estrategias de formación para la investigación en el desarrollo del programa de maestría se fundamentan en la presencia de docentes con amplia trayectoria en el área investigativa y que actualmente pertenecen o lideran grupos de investigación en la Universidad. Los grupos que podrían apoyar directamente a los estudiantes de la maestría provienen de las Escuelas de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería de Petróleos, Geología, entre otras. Esto, debido al componente interdisciplinar de la maestría. Estos se relacionan en la Tabla 21.

**Tabla 21: Grupos de investigación de la UIS con temas afines a la Maestría en Ingeniería Geotérmica**

<b>Grupo/Categoría Colciencias</b>	<b>Nombre del Grupo de Investigación</b>	<b>Escuela (s) Participantes</b>	<b>Líneas de Investigación Afines</b>
<b>CEIAM</b> [Categoría A1 en Colciencias]	Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales	Escuela de Ingeniería Química	1.Energías alternativas 2.Producción más limpia 3.Gestión ambiental
<b>CIDES</b> [Categoría A1 en Colciencias]	Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía	Escuela de Ingeniería Química	1.Optimización de procesos con énfasis en la protección del medio ambiente 2.Evaluación de la sostenibilidad de las aplicaciones de las energías renovables
<b>GMPH</b> [Categoría C en Colciencias]	Modelamiento de Procesos de Hidrocarburos	Escuela de Ingeniería de Petróleos	1.Técnicas avanzadas de imágenes aplicadas al modelamiento de yacimientos 2.Optimización de la producción 3.Modelamiento de cuencas
<b>GIEP</b> [Categoría B en Colciencias]	Grupo de Investigación en Estabilidad de Pozos	Escuela de Ingeniería de Petróleos	1.Análisis de la estabilidad del pozo en tiempo real 2.Medición de propiedades mecánicas pseudoestáticas y dinámicas de medios porosos.
<b>GRM</b> [Categoría C en Colciencias]	Grupo de Investigación Recobro Mejorado	Escuela de Ingeniería de Petróleos	1.Inyección de agua 2.Tomografía computarizada 3.Gerencia integrada de yacimientos
<b>GISEL</b> [Categoría A en Colciencias]	Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica	Escuelas de Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Informática	1.Uso racional de la energía y energías renovables 2.Operación, control e instalación de sistemas de energía eléctrica
<b>GIEMA</b> [Categoría A en Colciencias]	Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente	Escuela de Ingeniería Mecánica	1. Modelado y simulación de sistemas térmicos y energéticos 2.Energías alternativas

**Fuente:** UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. “Consolidado General de Categorías de Grupos de Investigación”. 2016. Disponible en: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/gruposInvestigacion/listadoGrupos.html>

## **4.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROGRAMA**

**4.2.1 Nombre del programa** Maestría en Ingeniería Geotérmica.

**4.2.2 Título que otorga** Magíster en Ingeniería Geotérmica.

**4.2.3 Modalidad** Conforme a la información recopilada de programas de maestría dedicados al estudio y la investigación de la energía geotérmica a nivel mundial (Capítulo 3), y previo al planteamiento del plan de estudios, es importante definir que el programa de maestría en cuestión será en la modalidad de investigación, debido a las siguientes razones:

- Los programas en esta modalidad tienen menor tiempo de trabajo dirigido por docentes, y mayor número de horas de trabajo independiente; de esta forma se reduce la demanda de profesores especializados en el área, haciendo más viable el programa conforme a las capacidades actuales de la UIS.
- Los proyectos de investigación en esta modalidad contarán con un mayor alcance que los trabajos de aplicación realizados en los programas con modalidad de profundización; esto permite que los proyectos de grado realizados cuenten con mayor posibilidad de ser financiados parcial o totalmente por Colciencias y otras entidades que promuevan el desarrollo de la industria geotérmica en Colombia.
- Los proyectos de investigación se dedicarán a la solución innovadora de problemas que presente la industria en Colombia y en la región, promoviendo de esta forma el emprendimiento y uso de la energía geotérmica.
- El costo de matrícula académica para los estudiantes de maestrías en programas con modalidad de investigación, por tratarse de programas subsidiados por la Universidad, será mucho menor al equivalente en caso de una maestría de profundización. Esto se traduce en un incentivo para la aceptación del programa y el fomento de demanda de aspirantes.

**4.2.4 Lugar donde se ofrecerá el programa** Se propone que la Maestría en Ingeniería Geotérmica se ofrezca en la ciudad de Bucaramanga departamento de Santander, en las instalaciones del Campus Central de la Universidad Industrial de Santander ubicada en la carrera 27 con calle 9, Edificio Jorge Bautista Vesga, Escuela de Ingeniería de Petróleos.

Se recomienda al momento de definir las características finales del programa, estudiar la viabilidad de ser ofrecido en otras localizaciones estratégicas, siempre que esta acción sea acorde con la reglamentación vigente y los objetivos misionales de la Universidad Industrial de Santander.

**4.2.5 Duración del programa** Cuatro semestres académicos, distribuidos en dos años calendario.

**4.2.6 Sistemas de selección, promoción, permanencia y evaluación de estudiantes**

La selección, promoción, permanencia y evaluación, al igual que todos los procesos relacionados con los estudiantes de posgrado, se regirán bajo los lineamientos específicos del Reglamento Estudiantil de Posgrado de la Universidad Industrial de Santander<sup>47</sup>.

La selección de los aspirantes se realizar con baje en los criterios que muestra la tabla a continuación. Los detalles de evaluación para cada criterio se encuentran con mayor detalle en el reglamento mencionado.

**Tabla 22: Criterios para la Evaluación de Aspirantes a Maestría**

Criterios	Puntuación
Hoja de vida	45 puntos
Examen de conocimientos	45 puntos
Entrevista personal	10 puntos

**Fuente:** UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER “Reglamento General de Posgrado” Artículo 113.

<sup>47</sup> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER “Reglamento General de Posgrado” Artículo 113. <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/posgrados/documentos/normatividadInterna/acuerdos/consejoSuperior/Acuerdo075ReglamentoGeneralPosgrado.pdf>

La periodicidad de la admisión y el número de estudiantes admitidos por cohorte, así como el diseño a detalle de los criterios de aceptación al programa, deben ser definidos una vez se cuente con estudios de mercadeo que determinen cuantitativamente la demanda de profesionales en el área.

**4.2.7 Perfil del aspirante** El aspirante exitoso al programa de maestría propuesto deberá contar con un título de pregrado en ingeniería de petróleos, ingeniería química, ingeniería de energías, ingeniería mecánica, ingeniería metalúrgica, ingeniería civil, ingeniería eléctrica, geología, geofísica, o de otras profesiones que cuenten con experiencia laboral o académicamente en el área de la geotermia por un lapso mínimo de dos años o que se encuentre vinculado a un grupo de investigación reconocido.

**4.2.8 Perfil profesional** El egresado del programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica estará preparado con altos valores éticos y comprometido con el desarrollo social y económico del país.

Estará capacitado con las siguientes competencias:

- Capacidad de planificar, gestionar y desarrollar proyectos de aplicación y/o investigación que conduzcan a la generación, adaptación y/o transferencia de conocimientos aplicados en la industria geotérmica (desde la exploración hasta la construcción de plantas generadoras de electricidad) en el territorio colombiano y a nivel internacional.
- Competencia para interactuar con profesionales de otras disciplinas en la optimización de los procesos involucrados en las operaciones de exploración y generación de energía geotérmica; promoviendo la energía geotérmica como una fuente económica de energía renovable.
- Capacidad para asumir y construir conocimiento en la solución innovadora de necesidades tecnológicas de la industria geotérmica, generando impactos positivos en el desarrollo del sector.

Entre otras instituciones, los egresados del programa podrán ejercer sus carreras profesionales como miembros de:

- Universidades y centros de investigación.
- Compañías consultoras en el área de aguas subterráneas/energía geotérmica.
- Empresas generadoras de energía.
- Empresas productoras de aguas subterráneas.

- Organismos gubernamentales.
- Organizaciones humanitarias en el área de energía geotérmica y aguas subterráneas.

**4.2.9 Número de créditos** El plan de estudios para programas de maestría tendrá de cincuenta (50) a sesenta (60) créditos académicos, distribuidos de acuerdo con la modalidad (investigación o profundización) o según regulaciones del Estado colombiano en materia de posgrados. Entendiendo un crédito académico el equivalente a cuarenta y ocho (48) horas de trabajo académico del estudiante, incluyendo tanto las horas de trabajo con acompañamiento directo del docente (TAD) y las horas de trabajo independiente (TI)<sup>48</sup>.

**4.2.10 Ficha técnica del programa de maestría** En el momento de la creación del programa de maestría, una ficha técnica similar a la citada a continuación, debe ser establecida. Ésta debe recopilar los aspectos generales del programa de maestría.

**Tabla 23. Ficha técnica del programa de maestría**

Nivel de Formación	Maestría en Ingeniería Geotérmica
<b>Facultad</b>	<b>Facultad de Ingenierías Físicoquímicas</b>
<b>Escuela</b>	<b>Escuela de Ingeniería de Petróleos</b>
<b>Departamento</b>	<b>Santander</b>
<b>Ubicación del Programa</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Código – SNIES</b>	-
<b>Normal Legal de Creación</b>	-
<b>Año de Creación</b>	-
<b>Norma de Creación Interna</b>	-
<b>Año de Inicio</b>	-
<b>Resolución de Registro Calificado Vigente</b>	-
<b>Título que Otorga</b>	<b>Magíster en Ingeniería Geotérmica</b>

Los espacios en blanco corresponden a los aspectos legales que tomarán lugar durante la creación oficial del programa.

<sup>48</sup> *Ibíd.*

## 4.3 PROPUESTA CURRICULAR

### 4.3.1 Objetivos del programa

- La Maestría en Ingeniería Geotérmica tiene como fundamentación educar y proveer al recurso humano los conocimientos necesarios para acelerar la exploración y el desarrollo de los recursos geotérmicos en Colombia con el fin de incorporar una nueva fuente de energía segura, limpia y sostenible a la canasta energética.
- Convertirse en un excelente y completo programa en las áreas de exploración, generación y utilización de la energía geotérmica. Adicionalmente compartir y aplicar la tecnología de estos recursos para desarrollar profesionales en Colombia y el mundo y así proveer energía segura y sostenible con el objetivo de mejorar la vida de las personas teniendo como prioridad la sostenibilidad y los asuntos ambientales.
- Actualmente no se cuenta en Colombia con instituciones que capaciten en el área, es por esto que el desarrollo y el entrenamiento, sobre todo en las universidades debe tomar una posición protagonista. Esto se traduce en aunar esfuerzos para desarrollar el enorme potencial con que cuenta Colombia en Energía Geotérmica, energía que ofrece además de estabilidad energética, una energía amigable con el medio ambiente.

**4.3.2 Fundamentación teórica (áreas de énfasis propuestas)** A partir de la información recopilada en el estudio de oportunidades de educación en energía geotérmica a nivel internacional (Capítulo 3), se definen dos programas académicos que constituyen una guía directa para el diseño curricular del programa de maestría en ingeniería geotérmica en la UIS.

- La Maestría en Ingeniería Geotérmica en *Clausthal University of Technology* (Alemania): Puesto que se trata de un programa creado dentro de una escuela de Ingeniería de Petróleos.
- La Maestría en Tecnologías de Energía Geotérmica en *Dedan Kimathi University of Technology* (Kenia): Al tratarse de un programa que responde a las necesidades del contexto de la energía geotérmica de Kenia y África oriental, el cual, al igual que en Colombia se encuentra en etapas de desarrollo y expansión.

Con base en estas dos maestrías, cuyos núcleos están descritos a continuación, se realizará la elección de las asignaturas que comprenderán la Maestría en Ingeniería Geotérmica dentro de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la UIS.

**Tabla 24: Paralelo de áreas de acción: *Clausthal University of Technology* y *Dedan Kimathi University of Technology***

Universidad	Áreas de Énfasis (Módulos)
 <p><b>Clausthal University of Technology</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundamentación</li> <li>2. Geología y Geofísica</li> <li>3. Ingeniería de Yacimientos</li> <li>4. Perforación y Completamiento</li> <li>5. Producción Geotérmica</li> <li>6. Gerencia de Energía</li> </ol>
 <p><b>Dedan Kimathi University of Technology</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundamentación</li> <li>2. Geología</li> <li>3. Geoquímica</li> <li>4. Geofísica</li> <li>5. Ingeniería de Perforación</li> <li>6. Ingeniería de Yacimientos</li> <li>7. Campos y Plantas Geotérmicas</li> <li>8. Tecnología Geomática y Geoespacial</li> <li>9. Ciencias Medio Ambientales</li> </ol>

En la Tabla 25 se proponen las áreas a ser trabajadas como ejes temáticos centrales y módulos de la Maestría en Ingeniería Geotérmica en la UIS.

Las áreas de énfasis aquí propuestas incluyen una serie de subtemas que se encuentran divididos dentro de asignaturas obligatorias y otras optativas; cuyo fin último es formar profesionales en la ingeniería geotérmica de forma integral, que cumpla con los objetivos misionales de la UIS.

A continuación, se describen brevemente los contenidos generales de cada una de las áreas de énfasis planteadas en la Tabla 25.

**Tabla 25. Áreas de estudio propuestas para la maestría en ingeniería geotérmica en la UIS**

Universidad	Áreas de Énfasis (Módulos)
 <p data-bbox="418 569 773 636"><b>Universidad Industrial de Santander</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundamentación</li> <li>2. Geología</li> <li>3. Geofísica</li> <li>4. Geoquímica</li> <li>5. Ingeniería de Yacimientos</li> <li>6. Ingeniería de Perforación y Completamiento</li> <li>7. Campos y Plantas Geotérmicas</li> <li>8. Gerencia de Energía</li> <li>9. Sostenibilidad y Medio Ambiente</li> </ol>

1. **Fundamentación:** Comprende temas de introducción a la energía geotérmica, caracterización de rocas geotérmicas, transferencia de masa y calor, mecánica de fluidos.
2. **Geología:** Geología de la exploración geotérmica, petrología ígnea, alteración mineral hidrotermal.
3. **Geofísica:** Exploración geofísica, métodos sísmicos, registro geológico de pozos.
4. **Geoquímica:** Exploración geoquímica avanzada, termodinámica química.
5. **Ingeniería de Yacimientos:** Dinámica de fluidos, análisis de presiones, evaluación y monitoreo de yacimientos, simulación de yacimientos.
6. **Ingeniería de Perforación y Completamiento:** Estabilidad del pozo durante la perforación, planificación y diseño de pozos geotérmicos, diseño de la cementación del pozo y tecnologías de perforación.
7. **Campos y Plantas Geotérmicas:** Diseño de facilidades, ingeniería de las plantas geotérmicas.
8. **Gerencia de Energía:** Dirección de proyectos geotérmicos, ingeniería económica, ley internacional de energía.
9. **Sostenibilidad y Medio Ambiente:** Ingeniería y gestión de seguridad, tratamiento y gestión de residuos, evaluación del impacto ambiental

**4.3.3 Organización curricular y plan de estudios** De acuerdo a la sección 4.3.2 del presente documento, en la que se definen las áreas de énfasis con las que contará la maestría en Ingeniería Geotérmica en la UIS, a continuación, se propone una posible configuración de las asignaturas que debe contar el programa.

**Tabla 26. Plan de estudios para la maestría en ingeniería geotérmica en la UIS**

<b>Maestría en Ingeniería Geotérmica</b> (Modalidad: Investigación) (Créditos: 52)			
<b>Semestre I</b> (Créditos: 10)	<b>Semestre II</b> (Créditos: 9)	<b>Semestre III</b> (Créditos: 17)	<b>Semestre IV</b> (Créditos: 16)
Seminario de Investigación I (2)	Seminario de Investigación II (2)	Seminario de Investigación III (2)	Seminario de Investigación IV (2)
Fundamentos de Energía Geotérmica (2)	Ingeniería de Yacimientos Geotérmicos (3)	Operaciones en Campos Geotérmicos (Perforación y Producción) (3)	Operaciones en Plantas Geotérmicas (2)
Matemáticas Avanzadas (4)	Electiva de Profundización II (2)	Trabajo de Investigación I (12)	Trabajo de Investigación II (12)
Electiva de Profundización I (2)	Electiva de Profundización II (2)		

Aprovechando la afinidad entre la maestría propuesta y otros programas de maestría dentro de la Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas de la UIS, algunas de las asignaturas electivas que se brindan como electivas en la Maestría en Ingeniería química, Maestría en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ingeniería de Hidrocarburos, Maestría en Ingeniería del Petróleo y Gas y la Maestría en Geología se podrían ofrecer para el nuevo programa.

- Geoestadística
- Geoquímica Orgánica
- Petrología y Geoquímica
- Petrología Ígnea
- Petrología Metamórfica
- Hidrogeología
- Flujo en Medios Porosos
- Métodos Numéricos en Ingeniería
- Simulación de Yacimientos
- Evaluación de Formaciones
- Análisis Petrofísicos
- Evaluación Económica de Yacimientos
- Análisis de Presiones
- Ingeniería de Perforación de Pozos
- Aseguramiento de Flujo

- Política Ambiental
- Impacto Ambiental
- Reutilización del Agua
- Control de la Contaminación del Agua
- El Desarrollo Sustentable y la Empresa
- Control de Emisiones

Otras asignaturas electivas, que no hacen parte de la oferta académica actual de la UIS, pero que complementan el perfil profesional del egresado de la maestría propuesta se nombran a continuación.

- Gerencia de Proyectos Geotérmicos
- Diseño y Control de Plantas Geotérmicas
- Geomecánica Aplicada a Yacimientos Geotérmicos

El diseño y consecución de todos los recursos requeridos para la puesta en marcha de este último grupo de electivas, así como el grupo de asignaturas obligatorias del plan de estudio especializadas en energía geotérmica, constituyen uno de los mayores esfuerzos de la institución universitaria para la viabilidad del programa.

**4.3.4 Proyecto de Grado** De acuerdo a lo contemplado en el Reglamento General de Posgrado en el artículo 97 “Todo candidato a título de maestría realizará, en forma individual, un trabajo de investigación, en el caso de las maestrías de investigación, o de aplicación, en el caso de maestrías de profundización. Entendiendo por trabajo de investigación el desarrollo de un proceso que, siguiendo el método científico, logre la transferencia, asimilación, apropiación, adaptación, ampliación, perfeccionamiento o desarrollo de conocimiento, metodologías o tecnologías para la solución de problemas disciplinares, interdisciplinares o profesionales, además de la satisfacción de necesidades del entorno, la región o el país asociadas al campo disciplinar.

Los aspectos relacionados con derechos de autor, derechos patrimoniales, otros derechos conexos, así como los acuerdos de confidencialidad, contratos y convenios para la realización de trabajos de grado se regirán por la legislación nacional, los tratados internacionales aprobados por Colombia y la reglamentación que para tal efecto tenga definida la Universidad Industrial de Santander.<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER “Reglamento General de Posgrado” Artículo 113.  
<https://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/posgrados/documentos/normatividadInterna/acuerdos/consejoSuperior/Acuerdo075ReglamentoGeneralPosgrado.pdf>

#### **4.4 ESTRUCTURA INVESTIGATIVA**

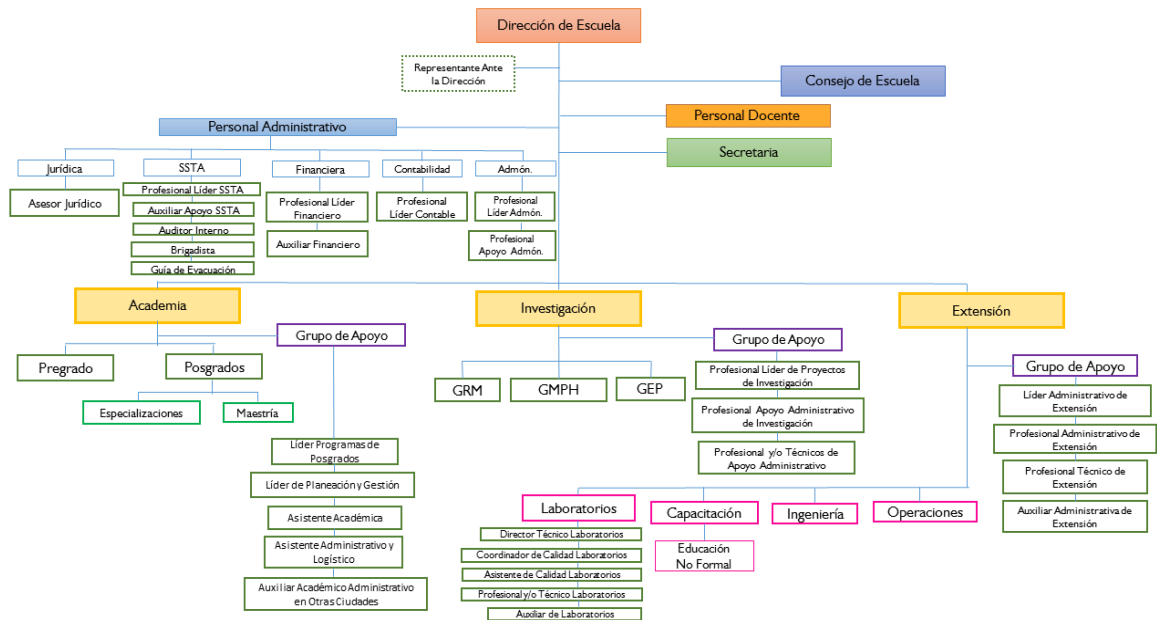
Con el fin de establecer la estructura investigativa del programa se hace necesario entender que es de vital importancia la cooperación entre varias Escuelas de la Universidad debido a la interdisciplinariedad de la Maestría. Esto último se considera muy enriquecedor para los estudiantes, ya que estos, se vinculan a los grupos de investigación como tesis de posgrado durante el desarrollo de su trabajo de grado, y lo pueden hacer con cualquiera de los Grupos de Investigación de apoyo a la Maestría (GRM, CEIAM, GISEL, GIEMA, GIEP, GPMH, CIDES) como se muestra en la Tabla 22.

Aunque, la mayoría de los estudiantes no puede continuar participando de manera activa en los grupos, dado que son profesionales vinculados a la industria cuyas labores cotidianas les imposibilita dedicarse a los procesos de investigación, sí pueden proponer a los grupos de investigación situaciones de interés que den pie a la formulación de nuevos proyectos de investigación.

#### **4.5 ESTRUCTURA ACADÉMICO ADMINISTRATIVA**

La organización académica de la Universidad Industrial de Santander está compuesta por Facultades, Escuelas y Departamentos. La Facultad está dirigida por un Decano y el Consejo de Facultad. La Escuela es una unidad académica y administrativa que tiene un Director y un Consejo de Escuela, elegido libremente por los profesores adscritos a la Escuela para un periodo de dos años. El Director de Escuela se asesora de profesores que se hacen cargo de la Coordinación de los Programas Académicos, además, en cada Escuela funciona un Comité Asesor de Programas de Posgrado, encabezado por un coordinador de posgrados. A continuación, se muestra el organigrama de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.

**Figura 13: Estructura organizacional de la Escuela de Ingeniería de Petróleos**



**Fuente:** ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS (EIP), Organigrama, disponible en: <http://petroleos.uis.edu.co/eisi/images/imagesEditor/20161124165659-diapositiva1.png>

#### 4.6 RETOS Y BARRERAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

Teniendo en cuenta los recursos internos de la UIS (Sección 4.1) y las características propuestas para el programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica (Secciones 4.2 y 4.3), es posible anticipar las dificultades que el programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica podría enfrentar para el inicio de su funcionamiento.

A continuación, se definen los criterios de evaluación para la situación actual de los cada uno de los recursos con los que cuenta la UIS y las distintas Unidades Académico Administrativas (UAA), frente a las condiciones óptimas para el buen funcionamiento del programa, y se explican los puntajes que se asignarán.

**Tabla 27: Criterios de calificación cuantitativa de cada aspecto evaluado**

Aspecto	Descripción	Calificación	Explicación de la calificación	Valor
<b>Impacto</b>	Impactos positivos de la solución de esta barrera al proceso de creación del programa	Mayor	La no solución de la barrera impacta totalmente, impidiendo la creación del programa de maestría.	22-33
		Moderado	La barrera disminuye moderadamente la viabilidad de crear el programa.	11-22
		Mínimo	La existencia de esta barrera no influye notablemente en la implementación de la maestría; su remoción genera beneficios.	1-11
<b>Viabilidad</b>	Nivel de facilidad (así como viabilidad de que exista interés por la UIS) para la superación del reto	Alta	Deben realizarse ajustes menores en las UAA involucradas.	22-33
		Moderada	Cambios en la estructura de las UAA y normas de la universidad.	11-22
		Baja	Se requieren permisos de difícil consecución y cambios en reglamentos universitarios.	1-11
<b>Costos</b>	Inversiones y costos necesarios para la remoción de la barrera	Bajo	Los costos requeridos para la remoción de la barrera son bajos	22-33
		Medio	Los costos asociados con posibles soluciones para remover la barrera son medianamente altos	11-22
		Alto	Los costos requeridos para remover la barrera son muy altos	1-11

En la Tabla 28 se definen las barreras que se identificaron y se han tenido en cuenta para el presente análisis de recursos disponibles y requeridos; de igual forma, se citan en orden de prioridad de acuerdo al puntaje acumulado en cada caso.

**Tabla 28. Retos que enfrenta la creación del programa de maestría**

Barrera	Descripción	Puntaje	
<b>Planta Docente Limitada</b>	La planta docente no se encuentra totalmente capacitada para cubrir en su totalidad las necesidades y exigencias de enseñanza y acompañamiento de los estudiantes del nuevo programa de maestría de alta calidad enfocado en el sector de la energía geotérmica.	Impacto	30
		Viabilidad	25
		Costos	20
		<b>TOTAL</b>	<b>75</b>
<b>Recursos Académicos Restringidos</b>	Algunos recursos bibliográficos, electrónicos y tecnológicos de la UIS deben estar disponibles para el nuevo programa de posgrado. Algunas insuficiencias en estos recursos deben ser solucionadas para el desempeño adecuado de las actividades misionales de la Maestría en Ingeniería Geotérmica.	Impacto	15
		Viabilidad	28
		Costos	18
		<b>TOTAL</b>	<b>61</b>
<b>Oportunidades para Egresados</b>	La demanda de profesionales en el sector de la energía geotérmica en Colombia no es lo suficiente amplia para garantizar oportunidades laborales a los egresados.	Impacto	33
		Viabilidad	10
		Costos	10
		<b>TOTAL</b>	<b>53</b>
<b>Infraestructura Limitada</b>	Algunas limitaciones en la infraestructura con la que cuenta la UIS y las UAA involucradas dificultarían el desempeño óptimo de todas las actividades administrativas, académicas y de investigación requeridas por en el programa de maestría.	Impacto	10
		Viabilidad	23
		Costos	18
		<b>TOTAL</b>	<b>51</b>
<b>Recursos de Investigación Limitados</b>	Los espacios como grupos y centros de investigación y parques tecnológicos presentan limitaciones o requieren adecuaciones que permitan crear un ambiente óptimo para la generación de conocimiento a través de la investigación en temas de energía geotérmica.	Impacto	25
		Viabilidad	16
		Costos	8
		<b>TOTAL</b>	<b>49</b>
<b>Servicios de Bienestar Universitario</b>	Los recursos de bienestar universitario podrían llegar a ser limitados para el fomento de una completa formación integral de los profesionales en proceso de formación dentro de la Maestría en Ingeniería Geotérmica.	Impacto	8
		Viabilidad	16
		Costos	21
		<b>TOTAL</b>	<b>45</b>

A partir de los resultados ilustrados en la Figura 14, se concluye que la superación de las limitantes asociadas a la planta docente, los recursos académicos disponibles y las oportunidades para los egresados del programa constituyen los factores más urgentes para el avance hacia la constitución exitosa del programa de maestría en ingeniería geotérmica.

**Figura 14: Retos que enfrenta la creación del programa de maestría**



## 5. CONCLUSIONES

Basados en el potencial latente de la industria geotérmica en Colombia, debido en parte a su privilegiada ubicación geográfica, y al creciente interés de entidades como ISAGEN, COLCIENCIAS y el Servicio Geológico Colombiano por poner en marcha proyectos de este tipo, la energía geotérmica representa una estratégica y sostenible solución a las crecientes dificultades energéticas del país y la región.

Si bien existen numerosas barreras para la puesta en marcha de una Maestría en Ingeniería Geotérmica, son muchas más las oportunidades de desarrollo que ésta representa para la universidad y el país, al tratarse de un programa con enfoque en un área relevante dentro del Plan Nacional de Desarrollo como es el caso de las Fuentes de Energía Renovable No Convencionales.

La viabilidad de un nuevo programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica aumenta al tratarse de la UIS. Gracias a que la mayoría de asignaturas dentro de la estructura curricular del mencionado programa ya son ofrecidas en otros programas de posgrado afines, como es el caso de las Maestría en Ingeniería química, Maestría en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ingeniería de Hidrocarburos, Maestría en Ingeniería del Petróleo y Gas y la Maestría en Geología, se puede ver que la UIS cuenta con una parte importante del recurso físico, humano y de investigación requerido para el mismo.

La superación de las limitantes asociadas a la planta docente y a los recursos académicos disponibles en la UIS constituyen los factores más importantes para el avance hacia la constitución exitosa del programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica. Para esto, se hace necesario incorporar expertos en ingeniería geotérmica para apoyar el correcto desarrollo de las asignaturas más especializadas del programa, igualmente, material bibliográfico en el área debe ser incorporado dentro de los recursos académicos.

## **6. RECOMENDACIONES**

Con el fin de ampliar el alcance del presente proyecto, un estudio más profundo de la viabilidad de la creación de la Maestría en Ingeniería Geotérmica es recomendado, en el estudio se deben considerar las oportunidades profesionales del egresado del programa.

Realizar un estudio comparativo entre: la viabilidad de la creación del programa de Maestría en Ingeniería Geotérmica como un programa independiente y la posible integración de un módulo de energía geotérmica como una opción de profundización de una maestría existente en la UIS.

En caso de que la propuesta planteada en el presente documento despierte interés por parte de las directivas de la Universidad Industrial de Santander se recomienda crear un equipo de trabajo que utilice los resultados obtenidos en el presente proyecto y proceda a la evaluación final de factibilidad y mercadeo para la ejecución del programa.

## BIBLIOGRAFÍA

AVTAR, R., KUMAR, P. “Geothermal Energy as a Major Source of Renewable Energy - Learning from Asian Neighbors”, United Nations University, Institute for the Advanced Study of Sustainability, 2015.

DEDAN KIMATHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Geothermal Training and Research Institute (GETRI). Disponible en: <http://www.dkut.ac.ke/index.php/geothermal-training-and-research>

DICKSON, M., FANELLI, M. “What is Geothermal Energy?”, *Istituto di Geoscienze e Georisorse*, Pisa, Italia, 2004.

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS. Acerca de la EIP. Disponible en: <http://petroleos.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp>

HOLM, A. “Geothermal Education and Training Guide”, Geothermal Energy Association, 2011.

GEHRINGER, M., LOKSHA, V. ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANT PROGRAM – ESMAP. “Manual de Geotermia: Cómo Planificar y Financiar la Generación de Electricidad”, 2012.

GIRALDO, J., VESGA, L. “Energía Geotérmica y la Explotación de Yacimientos Hidrocarburos: Oportunidades para una Mutua Transferencia de Tecnología”, Universidad Industrial de Santander, 2015.

ISAGEN, “Notas para la Investigación y Desarrollo de Proyectos Geotérmicos en Colombia”, Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2012.

LEE, K.C. “Classification of Geothermal Resources, An Engineering Approach”, Geothermal Institute at the University of Auckland, 1996.

LLOPIS, G., RODRIGO, V. “Guía de la Energía Geotérmica” Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Menas de la Universidad Politécnica de Madrid, 2008.

MARZOLF, N. "Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia". Banco Interamericano de Desarrollo BID. Convenio ISAGEN-BID/JC. 2014.

NICHOLAS O.M. "Status and Challenges in Training on Geothermal Energy in Africa", Geothermal Energy Training & Research Institute, Dedan Kimathi University of Technology, Kenya, 2015.

NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. Joint Nordic Master's Degree Programme. Disponible en: <https://www.ntnu.edu/studies/msisee>

PEARSON, S., "IEA Geothermal Implementing Agreement Annual Report" Nueva Zelanda, 2014.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21. "Renewables 2016 Global Status Report. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_en\\_10.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_en_10.pdf)

REYKJAVÍK UNIVERSITY. Sustainable Energy MSc. Disponible en: <http://en.ru.is/ise/programmes/sustainable-energy>

SPALEK, A., SCHÜTZ, F., BRUHN, D. "List of European universities offering training and education in the field of geothermal energy", GEOELEC, 2013.

STANFORD UNIVERSITY. Energy Resources Engineering. Disponible en: <https://earth.stanford.edu/ere/graduate-program>

THE UNIVERSITY OF AUCKLAND. Master of Energy. Disponible en: <http://www.engineering.auckland.ac.nz/en/for/futurepostgraduates/fp-study-options/fp-admission-for-masters/master-of-energy.html>

TU CLAUSTHAL. Geothermal Master Programme. Disponible en: <https://www.ite.tu-clausthal.de/en/mscgeothermal/>

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, “Histórico de producción de carbón anual. Sistema de Información Minero Colombiano”, 2014.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia”, 2015.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Plan de Desarrollo Institucional 2008-2018. Disponible en:  
<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/rectoria/documentos/planDesarrollo.pdf>

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Programas académicos Escuela de Ingeniería de Petróleos. Disponible en:  
<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/programasAcademicos/index.html>

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL. Hydrogeology and Geothermics. Disponible en:  
[https://www2.unine.ch/sciences/formations/Hydrogeologie\\_et\\_geothermie](https://www2.unine.ch/sciences/formations/Hydrogeologie_et_geothermie)

UNIVERSITY OF ICELAND. Geology MS. Disponible en:  
<https://ugla.hi.is/kennsluskra/index.php?tab=nam&chapter=namsleid&id=090615&kennslu ar=current>