

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

VIABILIDAD DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA COMO FUENTE ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA

VIABILITY OF GEOTHERMAL ENERGY AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ELECTRICITY ENERGY PRODUCTION IN COLOMBIA

Frank Giuseppe Peña Herrera

Ingeniero Ambiental Especialista en Higiene, Seguridad y Salud en el Trabajo
Estudiante
Bogotá D.C., Colombia.
u2700934@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájjar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE
LOS RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAYO DE 2019**

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

VIABILIDAD DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA COMO FUENTE ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA

VIABILITY OF GEOTHERMAL ENERGY AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ELECTRICITY ENERGY PRODUCTION IN COLOMBIA

Frank Giuseppe Peña Herrera

Ingeniero Ambiental Especialista en Higiene, Seguridad y Salud en el Trabajo

Estudiante

Bogotá D.C., Colombia.

u2700934@unimilitar.edu.co

RESUMEN

En el presente artículo se trató temáticas relacionadas sobre investigaciones previas en temas de energía geotérmica como fuente para generación de energía a lo largo de los últimos cinco años y de la misma llegar a proponer la viabilidad de implementar la generación eléctrica en base a esta en el país. Se realizó revisión bibliográfica de diversos tipos de energías alternativas, casos de éxito en la región en el uso de energía geotérmica y sobre la problemática Colombiana en el desarrollo de investigación de la geotermia en diferentes artículos de revistas especializadas, las principales fuentes de consulta fueron en bases de datos con las que la universidad tiene convenio y de uso libre, paginas web gubernamentales y legislación vigente relacionada con la temática. Los resultados de la revisión muestran cifras y proyecciones para realización de proyectos con energía geotérmica en el país y deriva un análisis sobre importancia y viabilidad de implementar esta fuente no convencional para generación de energía.

Palabras clave: Energía geotérmica, Renovable, Viabilidad, Potencial

ABSTRACT

This article dealt with thematic issues related to previous research on geothermal energy issues as a source of power generation over the last five years and to propose the feasibility of implementing electricity generation based on this in the country. Bibliographic review was carried out of different types of alternative energies, cases of success in the region in the use of geothermal energy and on the Colombian problem in the development of geothermal research in different articles of specialized journals, the main sources of consultation were in databases with which the university has an agreement and free use, government websites and current legislation related to the subject. The results of the review show figures and projections for carrying out projects with geothermal energy in the country and derives an analysis on the importance and feasibility of implementing this non-conventional source for power generation.

Keywords: Geothermal energy, Renewable, Viability, Potential

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

INTRODUCCIÓN

En el plano nacional el sector eléctrico colombiano genera energía de diversas fuentes, la principal de ellas por centrales hidroeléctricas con 67,3% de la producción nacional, seguida a esta se cuenta con plantas térmicas que generan el 27,1%, plantas menores con el 5,1% y cogeneradores con un 0,6% (Castillo, Castrillón-Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015, págs. 41-42).

Las administraciones en curso a través de los años han buscado aumentar la cobertura y rendimiento económico por sobre la investigación en generación de energías con fuentes alternativas, no fue sino hasta la crisis energética de la década de los años noventa, cuando se vio la necesidad de explorar fuentes de energía alternativas (UPME, 2003).

En otros países alrededor del mundo se han establecido políticas de apoyo a las energías renovables a finales del 2015 (REN21, 2016), en Colombia se presenta una deuda con fuentes alternativas de energía, debido a que no se tiene una política clara que brinde apoyo a energías renovables como medidas alternativas de generación de energía.

Las inversiones en el marco nacional se han volcado a grandes embalses porque se puede guardar más agua para generar y centrales térmicas porque los combustibles se pueden almacenar para quemar cuando se necesitan, (Giraldo-Ocampo, 2017) asegura que “esto podría acabar con las posibilidades de tener energía renovable a gran escala en Colombia al tener que competir en términos de confiabilidad” (pág. 14).

Por lo mencionado anteriormente surgió el interés por la búsqueda de la viabilidad de usar una fuente de generación de energía no convencional que garantice confiabilidad, la energía que mejor se ajusta a lo mencionado es la energía geotérmica dado que según (Yajure-Ramirez & Guzman, 2017) “el núcleo de la tierra puede alcanzar los 9000 °F, este calor fluye fuera del

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

núcleo de la tierra calentando el área circundante, lo cual puede crear reservorios subterráneos de agua caliente o vapor” (pág. 276).

En el país está propuesto que para entrar al mercado energético se realice una subasta dando incentivos a los proyectos que puedan dar mayor energía confiable, refiriéndose a confiabilidad a tener posibilidades de generación de energía aunque se presente escases de recursos.

El congreso colombiano aprobó en el año 2014 la Ley 1715, por la cual emitió el marco de referencia para implementar los incentivos para el impulso de las fuentes no convencionales de energía (Congreso de Colombia, 2014), esta resulta ser muy general en términos de etapas y le remite posteriormente a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (GREG) lo referente con la regulación.

Las fuentes alternativas como la hidráulica, la solar fotovoltaica y la eólica tienen la facultad de proporcionar energía inagotable en el corto plazo, pueden presentar variabilidad en la disposición de los recursos que la generan ya que dependiendo de los cambios meteorológicos se puede llegar a afectar su producción.

En el país se debe asegurar que los precios de las energías alternativas logren ser competitivas con respecto a las energías tradicionales, pero la ley en mención no ha promovido acordemente la participación de los autogeneradores y generadores distribuidos, incluidos en la ley como actores del mercado eléctrico ya que (Hoyos-Gómez, 2016) “no se tienen los incentivos adecuados que equiparen los costos de un kWh generado por los autogeneradores y generadores distribuidos con respecto a las plantas convencionales”(pág. 116), aunque la normatividad no define restricciones para desarrollar proyectos con fuentes alternativas, las

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

nuevas tecnologías aun presentan dificultades para alcanzar precios más competitivos respecto a las convencionales (Giraldo-Ocampo, 2017, pág. 13).

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

MATERIALES Y MÉTODOS

En el país existen proyectos que usan fuentes alternativas de energías como el uso de solar fotovoltaica y eólica, pero aún no se cuenta con un proyecto que genere energía a partir de la geotermia, ya que esta no se ha desarrollado sistemáticamente por falta de inversión e investigación, es importante aondar en este tipo de fuentes alternativas que permitan bajar la dependencia en las fuentes convencionales para la generación de energía en el país.

La revisión bibliográfica es un proceso que se realiza para la justificación de la investigación y así exponer los motivos que fundamenten la misma (Guirao-Goris, 2015, pág. 2), para la elaboración de la revisión bibliográfica se efectuó la consulta en bases de datos de la Universidad Militar y en bases de datos especializadas con las que la universidad tiene acceso como EBSCO, PROQUEST y SPRINGER y de uso libre como REDALYC y SCIELO, con diferentes métodos de filtrado de información de documentos desde el año 2014 en adelante, con palabras claves que cumplieran con los criterios de búsqueda que se relacionaran con la temática de la investigación.

Se seleccionaron 20 documentos que en su contenido desarrollaran la temática con el desarrollo científico, lo que permitió ralizar una comparación entre ellas identificando casos de éxito en la región, similitudes y avances del contexto nacional.

Por ultimó se completó el procedimiento con el rastreo de normatividad relacionada con la temática a tratar.

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los tipos de energía renovable del sector eléctrico se encuentran, la energía hidráulica, la energía geotérmica, la energía eólica, la energía solar, la energía de biomasa, la energía mareomotriz y la energía nuclear (Castillo, Castrillón-Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015, págs. 45-47), de las cuales entran en una clasificación de no convencionales las energías geotérmica, eólica, solar fotovoltaica y la mareomotriz.

La generación de energía obtenida de fuentes de energía renovables es una alternativa a nivel mundial, la energía aprovechada de los yacimientos geotérmicos es una fuente que cumple con el criterio de confiabilidad al obtener vapor de proceso y energía térmica que genera energía motriz en una turbina de vapor lo cual garantiza una producción constante de potencia eléctrica que a la vez asegurará una vida útil de producción de 20 años (Salazar-Pereira, Mora-Ortega, Bonilla-Blancas, Lugo-Leyte, & Lugo-Méndez, 2017, págs. 273-274).

En Colombia se han sufrido fuertes fenómenos del niño como en los años 2015 y 2016 donde el país entro en una crisis energética provocada por la disminución de la capacidad de suministrar energía eléctrica (Mateus, 2016, pág. 75), este fenómeno generó sequias que redujeron los niveles de los enbalces en Colombia lo cual afectó la generación de energía eléctrica, provocando un déficit dado que en el territorio nacional se a volcado a la producción de energía eléctrica por centrales hidroeléctricas radicando aquí la importancia de garantizar confiabilidad en la producción de energía eléctrica.

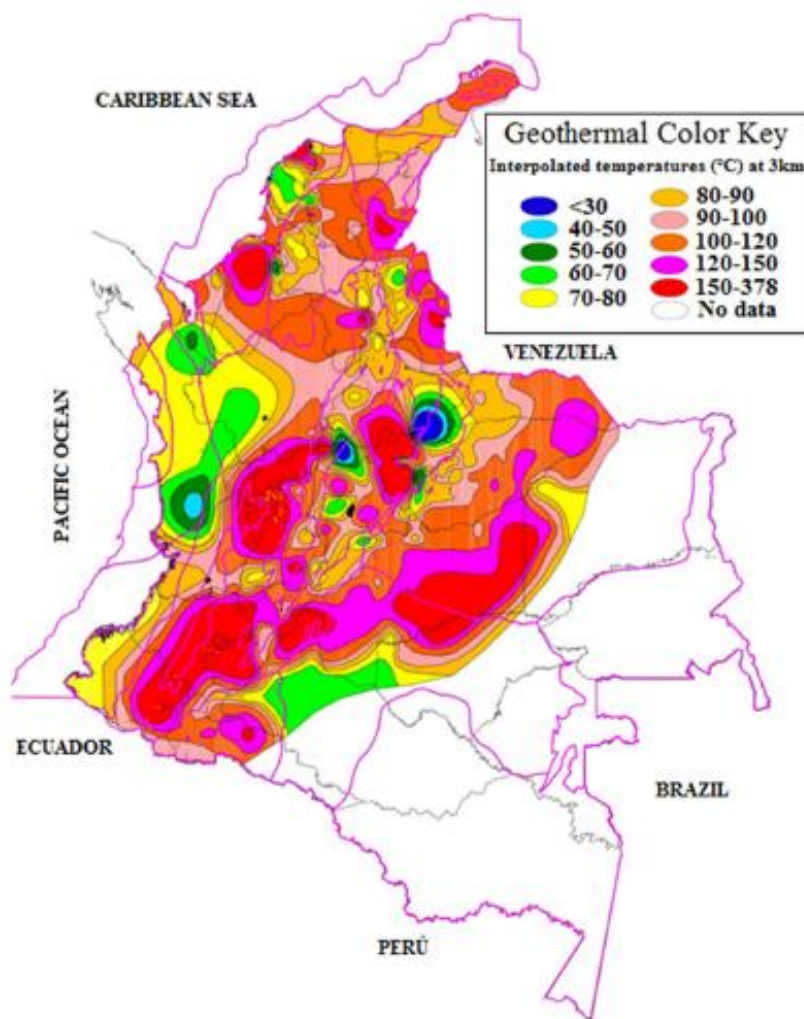
En latinoamerica, puntualmente en la República Mexicana hay presentes plantas geotermoeléctricas las cuales generan el 2,2% de energía eléctrica de la producción bruta nacional de acuerdo al Programa de Obras de Inversión del Sector Eléctrico (Salazar-Pereira, Mora-Ortega, Bonilla-Blancas, Lugo-Leyte, & Lugo-Méndez, 2017, pág. 274).

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Colombia al estar ubicada en el cinturón de fuego del pacífico y con actividad volcánica a lo largo de las cordilleras occidental y central hacen denotar un potencial de generación de energía en base a la geotérmica (Salazar, Muñoz, & Ospino, 2017, pág. 3), en la Figura 1 se muestra el potencial geotérmico en Colombia en términos de rangos de temperaturas disponibles a 3 Km de profundidad, con valores de gradiente de temperatura de hasta $127^{\circ}\text{C} / \text{Km}$.

Figura 1.

Mapa de potencial geotérmico (Temperatura en grados celsius a una profundidad de 3 Km)



Nota: (Salazar, Muñoz, & Ospino, 2017)

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Por lo ya mencionado resulta ser Colombia un escenario interesante para desarrollar proyectos de generación de energía geotérmica y la realización de estudios geológicos está siendo realizada por el Servicio Geológico de Colombia en Nevado del Ruiz, Tufiño-Chiles-Cerro Negro, Azufral, Paipa y el área de San Diego para lograr establecer la viabilidad de desarrollar proyectos en estas áreas.

Para dar inicio con un proyecto de generación de energía se debe partir de la identificación y selección de áreas potenciales más el reconocimiento de las restricciones ambientales, seguido a esto se deben generar los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos entendiéndose estos como una etapa de prefactibilidad, seguido a la etapa de prefactibilidad se inicia una fase de factibilidad donde se realiza la perforación exploratoria, se realizan estudios de viabilidad técnica y económica para posteriormente realizar un diseño de planta (Salazar, Muñoz, & Ospino, 2017, pág. 6).

El potencial geotérmico que puede usarse para generar energía eléctrica en Colombia fue estimado en 2210 MW en el año de 1999, en un estudio que cubrió sitios como Santa Rosa de Cabal, el Complejo Ruiz, Paipa, Volcán Azufral, Chiles, Cumbal, Cerro Negro y Tufiño (Salazar, Muñoz, & Ospino, 2017, pág. 5).

Según adelantos que ha ido desarrollando el Servicio Geológico de Colombia el mayor potencial de generación de energía en base a la geotérmica está ubicado en Azufral en el departamento de Nariño, el volcán Chiles – Cerro Negro ubicado entre Colombia y Ecuador en donde a profundidades entre 5 a 10 kilómetros de profundidad se tienen temperaturas que van desde los 220°C a los 230°C, temperaturas que resultan óptimas para generación de energía eléctrica en base a la geotérmica en el cual se estima un potencial entre 15 y 30 MW (Castillo, Castrillón-Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015, pág. 46).

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Otros puntos que pueden llegar a tener potencial de generación de energía en base a la geotérmica están ubicados en Paipa municipio de Boyaca donde (Castillo, Castrillón-Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015) “las rocas sedimentarias y el magma se encuentran a una profundidad de 5 kilómetros aproximadamente” (pág. 45) y en el macizo volcánico Ruiz – Tolima donde se han realizado estudios de prefactibilidad.

En el macizo volcánico del Ruiz con el proyecto Valle de Nereidas se busca generar 50 MW a partir de la energía geotérmica incorporándola a los proyectos de la repotencialización de las plantas municipal e intermedia pertenecientes a la microcentral el Chispero (Restrepo, Salazar, Ocampo, & Vergara, 2014, pág. 102).

La viabilidad de generar energía en base a la geotérmica según los cálculos y proyecciones planteados por (Isaza-Cuervo, 2015) en su artículo “valoración de fuentes renovables no convencionales de generación de electricidad”, estima un valor de 90% como porcentaje de eficiencia del recurso el cual está muy por encima de energías como la eólica, solar fotovoltaica e hidrocínética y mareomotriz a un costo de inversión similar al de la energía hidrocínética y mareomotriz las cuales van a representar inversiones importantes pero a costos de operación más bajos donde finalmente se estima en generar anualmente 394.200.000 KW/h.

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Tabla 1.

Parámetros teóricos para la valoración de la oportunidad de inversión mediante opciones reales.

	Eólica	Geotérmica	Hidrocinética y maremotriz	Solar fotovoltaica
Factor de capacidad	38%	90%	38%	21%
Generación esperada anual [kW-h]	166.878.000	394.200.000	3.337.560	350.400.000
Inversión [USD/kW]	\$2.000	\$5.946	\$6.125	\$4.988
Capacidad instalada [kW]	50.000	50.000	1.000	5.000
Horizonte de evaluación	20	20	20	20
Costo de operación(c) [COP/kWh]	\$70	\$80	\$126	\$114
Inversión unitaria (I) [COP/kWh]	\$116	\$175	\$506	\$759

Nota: (Isaza-Cuervo, 2015)

Las inversiones frente a las fuentes renovables no convencionales (FRNC) con las condiciones actuales de mercado como se valora la electricidad pueden llegar a presentar viabilidad financiera en un modelo de flujos de cajas descontados, pero según las proyecciones, la decisión más conveniente es no realizar aprovechamientos inmediatos de FRNC, sino esperar hasta que las condiciones de mercado cambien y se logre sostener un piso de precios futuros de electricidad, definido por el precio óptimo estimado en 183,6 COP / KWh para el caso de la energía geotérmica, con un valor de ejecución del proyecto de 6.513 COP / KWh, opción de diferir de 6.530 COP / KWh y valor de diferir y ejecutar el proyecto con el precio óptimo de 8.937 COP / KWh (Isaza-Cuervo, 2015, pág. 59).

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Tabla 2.

Valor del proyecto y de la opción para un precio promedio actual de 137,2 kWh y para el precio óptimo encontrado.

Energía	V(P)-I	F(P)	V(P*)-I
	[COP/kW-h]	[COP/kW-h]	[COP/kW-h]
	\$	\$	\$
Eólica	2.355	2.357	2.630
Geotérmica	6.513	6.530	8.937
Hidrocinética y Maremotriz	6.304	6.552	19.129
Solar Fotovoltaica	18.035	18.104	29.982

Nota: (Isaza-Cuervo, 2015)

El ministerio de minas y energía por medio del Decreto 2143 del año 2015 definio los lineamientos para la aplicación de incentivos establecidos en el capítulo III de la Ley 1715 de 2014, los incentivos propuestos corresponden a la deducción especial sobre el impuesto de renta y complementarios, exclusión del IVA, excención del gravamen arancelario y por ultimo la aplicación de incentivo por depreciación fiscal acelerada (Ministerio de Minas y Energía, 2015), estos incentivos sin duda promoverían la generación de energía con fuentes no convencionales de energía pero no equiparan en el corto plazo el costo de la tecnología necesaria para realizar los proyectos en base a la geotermia.

En Colombia es escasa la experiencia sobre FRNC por la baja inversión en el sector, el uso e implementación de las tecnologías adoptadas para su implementación tienden a ser muy costosas a la hora de su ejecución, aunque en otros países ya han superado la barrera tecnológica debido a la alta incursión estatal en el sector lo que ha permitido desarrollar el mercado con una visión futurista permitiendo una evolución continua del mercado (López-Méndez, 2017, pág. 12).

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Cabe mencionar que la energía geotérmica se considera una tecnología limpia, renovable y viable en términos ambientales para la producción de electricidad, tiene particularidades que requieren diseñar e implementar medidas de gestión ambiental en todas las etapas del proceso; por tal razón, la legislación colombiana establece que la obtención de una licencia ambiental es un requisito obligatorio para el uso de los recursos geotérmicos. Dicho permiso cubriría implícitamente todos los demás permisos, autorizaciones y / o concesiones requeridas para el uso, explotación y / o efectos en los recursos renovables que se requerirían durante la vida útil del proyecto (Salazar, Muñoz, & Ospino, 2017, pág. 6).

La generación de energía eléctrica en base a la energía geotérmica resulta ser una alternativa viable ya que es una fuente alternativa no convencional, con alto potencial al tener disponibilidad del recurso y confiable en términos de generación continua de energía.

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

CONCLUSIONES

Se tiene potencial de generación de energía geotérmica en el país en base a las condiciones de actividad volcánica en las cordilleras occidental y central y el gradiente de temperatura de 127°C por cada kilómetro de profundidad.

La producción de energía eléctrica en base a la geotérmica proporciona confiabilidad en la producción lo cual permite generar energía de forma continua independiente de fenómenos naturales, permitiéndole entrar en el mercado nacional de forma competitiva con energías de tipo convencional, lo cual también contribuye con el impulso de proyectos de esta índole a gran escala en Colombia.

Se deben realizar mayores estudios de prefactibilidad en zonas de actividad volcánica dado que se tienen estimaciones de generación de energía eléctrica con potencial de hasta 50 MW.

De la comparación del valor de la ejecución del proyecto, con el valor de la opción de diferir la oportunidad de invertir, se evidenció según las proyecciones que con un precio promedio futuro sobre electricidad de 183,6 COP/kWh para la tecnología de energía geotérmica es más conveniente diferir la inversión para el desarrollo hasta que los precios consigan un piso de precios que le permita ser más rentable.

Las políticas propuestas para generación de energía con el uso de FNCE, son un primer paso en la búsqueda de lograr la diversificación de la matriz energética del país, pero falta aumentar los esfuerzos para el desarrollo de proyectos de esta índole debido a que las tecnologías para el uso de FNCE son más costosas que las tradicionales y aun no se equiparan los costos de producción entre estas tecnologías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, G., & Vargas, A. (2017). Historia del descubrimiento y aprovechamiento de las fuentes termales en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (57), pp. 55 - 84.
- Castillo, Y., Castrillón-Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el Sector Eléctrico Colombiano. *Prospect*, (13), pp. 41 - 46.
- Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715 del 13 de Mayo de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá D.C.: Diario Oficial.
- Giraldo-Ocampo, D. F. (2017). *El marco normativo de las energías alternativas en Colombia no garantiza su pleno desarrollo*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia.
- Guirao-Goris, S. (Enero de 2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. *Revista de Enfermería*, (9), p. 2.
- Hoyos-Gómez, L. S. (2016). *Impacto de la Ley 1715 de mayo 13 de 2014 sobre el sector eléctrico Colombiano: análisis de los nuevos actores del mercado*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- Isaza-Cuervo, F. (Diciembre de 2015). Valoración de fuentes renovables no convencionales de generación de electricidad: un enfoque desde las opciones reales. *Cuadernos de Administración - Pontificia Universidad Javeriana*, (28), pp. 45 - 64.
- López-Méndez, J. (2017). *Diversos factores que influyen en la implementación de energías renovables en Colombia*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia.
- Martínez-Forero, A. F. (2016). *Factibilidad de implementación de un sistema de generación de potencia descentralizado basado en recursos renovables en la universidad libre sede bosque popular*. Universidad Libre, Bogotá D.C., Colombia.
- Mateus, A. C. (2016). Crisis Energética en Colombia. *Tecnología, Investigación y Academia - Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, (4), pp. 75 - 76.
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto 2143 del 4 de Noviembre de 2015 Por la cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos*. Bogotá D.C.: Diario Oficial.

VIABILIDAD DE LA GEOTÉRMICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

- Pedraza-Fracica, S., & Mariño-Martínez, J. (2014). *Evaluación termal de 6 pozos de la parte central de la cordillera oriental (Colombia), a partir de paleogeotermas: implicaciones sobre la historia térmica y los hidrocarburos*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.
- REN21. (2016). *Energías renovables 2016 - Reporte de la situación mundial*. REN21, (7).
- Restrepo, S., Salazar, K., Ocampo, O., & Vergara, M. d. (Julio de 2014). Análisis de la producción científica en energías en Caldas, Colombia. *El Hombre y la Máquina*, (45), pp. 98 - 109.
- Salazar, S., Muñoz, Y., & Ospino, A. (Diciembre de 2017). Analysis of geothermal energy as an alternative source for electricity in Colombia. *Geothermal Energy*, (5), p. 27.
- Salazar-Pereira, M., Mora-Ortega, A., Bonilla-Blancas, A., Lugo-Leyte, R., & Lugo-Méndez, H. (Octubre de 2017). Análisis paramétrico de las centrales geotermoeléctricas: Vapor seco, cámara flash y ciclos híbridos. *DYNA*, (84), p. 203.
- UPME. (2003). *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión*. Bogotá D.C.: UPME (UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA).
- Yajure-Ramirez, C., & Guzman, Y. (2017). Estudio comparativo de técnicas de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a usar en la producción de electricidad. *Scientia Et Technica - Universidad Tecnológica de Pereira*, (22), pp. 273 - 280.