


# Approach to Geothermal Energy. A Link Additional for the Energy Transition in Venezuela

OQUENDO, Clarisa, ; SMITH, Aidaelena, Dr ; ASUAJE Miguel, Dr 


Universidad Metropolitana, UNIMET, Venezuela,

[clarisa.oquendo@correo.unimet.edu.ve](mailto:clarisa.oquendo@correo.unimet.edu.ve), [asmith@unimet.edu.ve](mailto:asmith@unimet.edu.ve), [masuaje@unimet.edu.ve](mailto:masuaje@unimet.edu.ve),

*Abstract- Today, it is clear and imperative for modern civilization to ensure its proper functioning and evolution. However, the current global energy situation is, to say the least, challenging. More precisely, there is still a global reliance on it in the conventional oil and gas sector, despite pressure to reduce greenhouse gas emissions and mitigate other environmental problems. Renewable energies are necessary for a sustainable supply that replaces current fossil fuel-based systems. In recent decades, studies have indicated that the use of geothermal energy, improving its efficiency, represents one more option to address these challenges and support the energy transition. Whether in direct applications of geothermal energy: domestic and commercial use, or for power generation in various power plant configurations, geothermal energy is significantly beneficial. The present work evaluates the geothermal potential of Venezuela of conventional and non-conventional systems by means of the volumetric method. Venezuela has a great geothermal potential, estimated at 500 MW for conventional systems. This potential is concentrated in a geothermal belt that runs from the southwest to the northeast of the country.*

*Keywords: Geothermal potential; Application in Venezuela; Energy Transition*

# Aproximación a la Energía Geotérmica. Un Eslabón Adicional para la Transición Energética en Venezuela

OQUENDO, Clarisa, ; SMITH, Aidaelena, Dr ; ASUAJE Miguel, Dr 

Universidad Metropolitana, UNIMET, Venezuela,

[clarisa.oquendo@correo.unimet.edu.ve](mailto:clarisa.oquendo@correo.unimet.edu.ve), [asmith@unimet.edu.ve](mailto:asmith@unimet.edu.ve), [masuaje@unimet.edu.ve](mailto:masuaje@unimet.edu.ve).

**Resumen-** Hoy en día, es claro e imperativo para la civilización moderna asegurar su correcto funcionamiento y evolución. Sin embargo, la actual situación energética mundial es, por decir lo menos, desafiante. Más precisamente, todavía existe una dependencia global de él en el sector convencional del petróleo y el gas, a pesar de la presión para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar otros problemas ambientales. Las energías renovables son necesarias para un suministro sostenible que reemplaza los actuales sistemas basados en combustibles fósiles. En las últimas décadas, estudios han señalado que la utilización de energía geotérmica, mejorando su eficiencia representan una opción más para abordar estos desafíos y apoyar la transición energética. Tanto en aplicaciones directas de la energía geotérmica: uso doméstico y comercial, como para la generación de energía en diversas configuraciones de centrales eléctricas, la energía geotérmica resulta significativamente beneficiosa. El presente trabajo evalúa el potencial geotérmico de Venezuela de sistemas convencionales y sistemas no convencionales mediante el método volumétrico. Venezuela cuenta con un gran potencial geotérmico, estimado en 500 MW para sistemas convencionales. Este potencial se concentra en un cinturón geotérmico que va desde el suroeste hasta el noreste del país

**Palabras clave:** Potencial Geotérmico; Aplicación en Venezuela; Transición Energética

## I. INTRODUCCIÓN

Las plantas geotérmicas son únicas por su capacidad de despacho y pueden ajustar su producción de energía según la demanda, lo que las hace versátiles y adaptables a las necesidades de la red eléctrica y del mercado. Este hecho, establece una gran diferencia con otras energías renovables las cuales dependen del clima, otorgando a las plantas de energía geotérmica la bondad de ofrecer electricidad constante y confiable todo el año. Un punto desfavorable es que las plantas geotérmicas requieren una inversión inicial alta, con un CAPEX (Capital Expenditures) de 3076 USD/kW, en comparación con \$1327 para la energía sola USD/kW [1]. Sin embargo, en cuanto a lo ambiental, las plantas geotérmicas son más ecológicas, ya que emiten 50g CO<sub>2</sub>e/kWh, cuatro veces menos que las plantas solares [2].

El uso de la energía geotérmica se remonta a los baños calientes en la antigüedad, experimentando un rápido desarrollo en el siglo XX, donde se comenzó la producción de electricidad a partir de esta. El potencial estimado para la región de América Latina se encuentra alrededor de los 11GW [3].

La producción de energía geotérmica aún está en sus etapas iniciales, siendo Chile el único país de con una planta

geotérmica en funcionamiento [4] Venezuela posee 5 sistemas de fallas tectónicas en su territorio (Sistema de falla de Boconó, Sistema de falla Oca, Ancón, Sistema de falla San Sebastián, Sistema de falla la Victoria y Sistema de falla El Pilar), ubicadas en la Fig. 1 a continuación [5].



Fig. 1 Mapa de los sistemas de fallas tectónicas.

La presencia de fallas tectónicas puede aumentar la producción de fluidos geotérmicos debido a su permeabilidad. Sin embargo, no todas las fallas son permeables y sus propiedades hidráulicas pueden ser difíciles de caracterizar. Las fallas tectónicas, debido a su permeabilidad, pueden facilitar el flujo de fluidos geotérmicos desde las profundidades de la Tierra hasta la superficie. Estos fluidos calientes pueden ser utilizados en plantas de energía geotérmica para generar electricidad.

Hasta la fecha, en Venezuela sólo hay un proyecto de energía geotérmica, este se encuentra archivado y fue el resultado de un estudio del potencial geotérmico del país que culminó en los años 90. Este estudio concluyó que la zona que tenía un claro potencial de generación de electricidad para el momento era la zona de El Pilar- Casanay en el Estado de Sucre por sus reservorios que rondan los 300 °C [6].

Sin embargo, no deberíamos limitar el potencial geotérmico de Venezuela a esta única zona, especialmente considerando los avances en la tecnología de energía geotérmica. Las plantas geotérmicas se dividen en 3 tipos, [7] las plantas de vapor seco, que utiliza vapor seco a temperaturas superiores a 250°C; las plantas de destello simple y doble que utilizan fluidos a temperaturas superiores a los 225°C; y las plantas binarias, que trabajan con el ciclo orgánico de Rankine con fluidos de trabajo con puntos bajos de ebullición pudiendo

generar electricidad a temperaturas menores de 225°C. Venezuela cuenta con una serie de sistemas geotérmicos naturales a temperaturas que cumplen con el rango de temperaturas en el que se pueden emplear las plantas binarias para la generación de energía eléctrica.

Los avances tecnológicos en la energía geotérmica están expandiendo nuestras perspectivas más allá de los sistemas geotérmicos naturales. Ahora, podemos considerar la explotación de recursos geotérmicos en áreas donde encontramos roca caliente, independientemente de si existen sistemas geotérmicos naturales. Se proyecta que en las próximas décadas haya un crecimiento importante en el potencial de la energía geotérmica, la cual podría pasar de ser unos 70- 80GW [8] a unos 1200GW para el 2050 mediante el desarrollo de los sistemas geotérmicos mejorados (SGM) [9]. En este tipo de sistemas, típicamente no existen yacimientos naturales, estos son creados mediante la fracturación hidráulica de formaciones rocosas que de por sí son naturalmente fracturadas, con el propósito de mejorar la permeabilidad de esta, dado a que el fluido es originalmente insuficiente para la generación de energía. Para llevar a cabo la fracturación de la roca, se inyecta agua a alta presión mediante un pozo de inyección, una vez fracturada la roca se realiza un mapeo de las fracturas y se procede a perforar el pozo de extracción, por el cual saldrá el agua luego de haber sido calentada por la roca caliente en el yacimiento creado [9].

Según los mapas mostrados a continuación en la Fig. 2 y Fig. 3 [10], se observa que el norte y occidente de Venezuela poseen el mayor potencial geotérmico para los SGM dado a que esta zona destaca por tener el mayor potencial energético a una profundidad económicamente óptima, así como el mayor potencial calorífico sustentable.

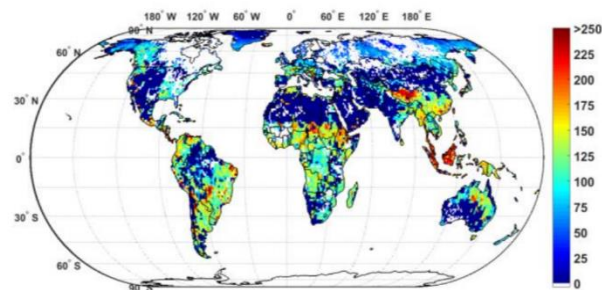


Fig.3 Potencial de calor sostenible disponible a una profundidad óptima.

Es importante mencionar que Venezuela cuenta con una infraestructura de pozos petroleros ya existente. Esta infraestructura podría ser aprovechada para la producción eficiente de energía geotérmica. El calor de la salmuera, que se obtiene durante la extracción de petróleo, podría utilizarse para generar electricidad en una planta geotérmica. Este calor también podría ser aprovechado como fuente interna para el tratamiento de los hidrocarburos.

Además del posible aprovechamiento que se le podría dar a la infraestructura existente, las tecnologías de exploración y explotación utilizadas en la industria del petróleo y gas pueden ser transferidas y adaptadas para su uso en la industria geotérmica debido a su similitud, los pozos exploratorios y las tecnologías de caracterización química, de temperatura y presión son igualmente aplicables en ambos campos. Adicionalmente, las herramientas de modelado de reservorios, que integran datos geológicos, geofísicos y geoquímicos, son fundamentales para la estimación de recursos y la gestión a largo plazo de los reservorios. [11]

Por lo tanto, la incursión de Venezuela en la generación de energía geotérmica podría beneficiarse de la experiencia del país y las semejanzas que existen tanto en la industria petrolera como gasífera con la geotérmica, aprovechando las tecnologías existentes y adaptándolas para mejorar el rendimiento de los recursos geotérmicos. En la Fig. 4 se aprecia la distribución de las fuentes termales en relación con las cuencas petrolíferas del país.

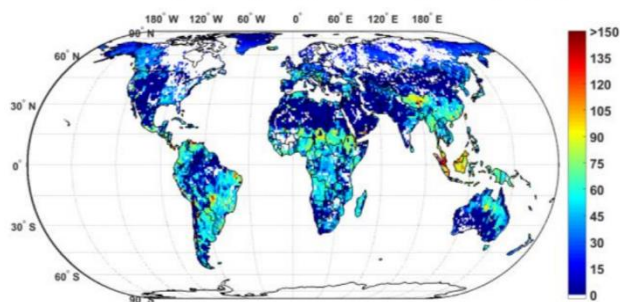


Fig. 2 Potencial de capacidad de energía sostenible a una profundidad óptima.



Fig.4 Mapa de PDVSA, superpuesto con el mapa de la ubicación de las fuentes termales.

## II. OBJETIVO

Estimar mediante el método volumétrico el potencial geotérmico en Venezuela, utilizando sistemas convencionales y sistemas geotérmicos mejorados.

## III. METODOLOGÍA

El potencial geotérmico de Venezuela mediante el método volumétrico (referencia). Para esto se requiere conocer las propiedades de los yacimientos y del agua a utilizar. Las etapas de cálculo se detallan a continuación.

### Caracterización de los yacimientos

Para ello se especificarán las rocas que conforman las diferentes formaciones rocosas, indicando sus densidades, capacidades caloríficas y porosidades eficaces, se realizará la estimación del tamaño y la determinación de profundidad, temperatura de los yacimientos mediante la revisión de bibliografía.

Para la estimación del tamaño de los yacimientos se pueden realizar varias asunciones [12]:

- Espesor del reservorio: Se toma 1,5km de espesor por ser este el espesor más probable.
- Área del reservorio: Se asume un área de  $2km^2$  por yacimiento.

### Evaluación del potencial energético

Se calculará el calor contenido en el yacimiento mediante el método volumétrico [13]. De igual forma, se realizará el cálculo del calor recuperable proporcionando estimaciones de la capacidad de generación de los yacimientos analizados, con las relaciones presentadas a continuación [13]:

Sistemas convencionales:

$$H_o = [(1 - \emptyset) \rho_r Cr + \emptyset \rho_a Ca] \cdot (T_t - T_o) \cdot S \cdot e \quad (1)$$

En la que:

$H_o$  = calor almacenado en la formación (Joules)  
 $\emptyset$  = Porosidad eficaz de la formación (adimensional)

$\rho_r$  = Densidad de la roca yacimiento ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$Cr$  = Capacidad calorífica de la formación (Joules/kg°C)

$\rho_a$  = Densidad del agua de formación. ( $1.000 \frac{kg}{m^3}$ )

$Ca$  = Capacidad calorífica del agua de formación: 4.186 Joules/kg°C

$T_t$  = Temperatura media del yacimiento

$T_o$  = Temperatura media anual en superficie

$S$  = Superficie del yacimiento

$e$  = Espesor medio útil del yacimiento

Para determinar la cantidad de energía que se puede extraer del yacimiento (2) [13]:

$$H_i = R \cdot H_o \quad (2)$$

$H_i$  = calor recuperado (Julios)

$R$  = Factor de recuperación

$$R = 0,33 \cdot \left( \frac{T_p - T_i}{T_p - T_s} \right) \quad (3)$$

Donde:

$T_p$ : temperatura de producción

$T_i$ : temperatura de inyección (Para los cálculos se asume una temperatura de reinyección de 60 C)

Para estimar la capacidad que se podría instalar se puede utilizar la ecuación siguiente (4) [13]:

$$\text{Capacidad estimada} = \frac{H_i \cdot \eta \cdot \text{conversion} \cdot \text{renovabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de horas útiles}} \quad (4)$$

La eficiencia de conversión de energía de las plantas geotérmicas ronda el 10% [15]. Se un tomará para los cálculos un porcentaje de renovabilidad del 5%. Para las plantas de energía geotérmica se estima una utilidad que ronda el 90% (7.884 horas/año) al considerar las horas en las que se realizarán labores de mantenimiento preventivo de la planta.

### Sistemas no convencionales (SGM):

Para determinar el potencial energético para los sistemas EGS en Venezuela utilizaremos la ecuación del Recurso de Base Accesible (RBA) (5) [10].

$$RBA \text{ (Joules)} = V_i (m^3) \cdot \rho_i \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot C_i \left( \frac{Joules}{kg \cdot ^\circ C} \right) \cdot \frac{T_i - T_o}{2} (^\circ C) \quad (5)$$

$V_i$  = Volumen desde la superficie hasta la profundidad dada

$\rho_i$  = Densidad de la columna rocosa

$C_i$  = Capacidad calorífica de la columna rocosa

$T_i$  = Temperatura a la profundidad  $i$

(Si no se tienen datos se puede asumir un gradiente de 30°C/Km)

$T_o$  = Temperatura media anual en la superficie

El gradiente geotérmico medio en el planeta es de 30 °C por kilómetro, a menos que se produzca una anomalía podemos suponer este valor [15]. Para los sistemas EGS, se considera 5 km como la profundidad a la cual se puede producir energía considerando la tecnología actual [10], por lo que podemos considerar para un cálculo general del recurso de base accesible en Venezuela, tomando una temperatura de superficie de 20°C, una temperatura de:

$$T_{\text{pozo}} = T_s + \left( 30 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{km}} * 5\text{km} \right) = 20^{\circ}\text{C} + (150^{\circ}\text{C}) = 170^{\circ}\text{C}$$

La temperatura media de superficie en el país es de 25,7°C [16]. Se tomó 921 (Joules/(kg°C)) como valor medio para la capacidad calorífica de las formaciones rocosas y 2134 (kg/m³) como valor medio para la densidad de las mismas.

Para la estimación de la generación por km² de yacimiento creado, se calculará el calor almacenado en la formación y el calor recuperado, utilizando 0,3 de factor de recuperación y tomando 0,07 como valor de porosidad eficaz.

#### IV. DATOS

Los datos de las Tablas I y II se basan en la información de los yacimientos descubiertos con temperaturas de 100°C a profundidades intermedias [17] [6].

TABLA I  
CARACTERIZACIÓN DE LOS YACIMIENTOS CON POTENCIAL GEOTÉRMICO

Lugar	Gasto (lt/min)	Profundidad estimada (m)	Temperatura del yacimiento (°C)	Temperatura media anual en la superficie (°C)
Guarumen	210	2500	120 (193 a 2400m en pozo petrolero cercano)	26
Batatal	120	-	170	24
Pilancones	-	-	100	28
Vela de Coro	-	-	100	28
Trincheras	278	-	170 (intermedio)	25
Mariara	-	-	130 (intermedio)	26
Agua Caliente	-	-	111	27
Agua Viva	-	-	126	27
El cubo, Tarra	-	-	93 en la Superficie	26
Santa Ana	30	-	190	24
Neveri, San Diego	-	2000m	108	28
Mundo Nuevo	-	-	140	26
Pantoño	-	-	100	2
Aguas Calientes	800	-	250 intermedio	25

Tomando en consideración los tipos de roca encontrados en la zona donde se ubica cada formación según el mapa geológico y tipos de roca de Venezuela (1963) [18] [19][20][21], se asignaron valores de porosidad efectiva entre 0,04 y 0,20.

TABLA II  
CARACTERIZACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

Lugar	Tipos de Roca en la zona	Densidad (kg/m³)	Capacidad calorífica (J/kg°C)	Porosidad eficaz Ø	Conductividad (microhm/cm)
Guarumen (Guárico)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,13	30-100
Batatal (Miranda)	Caliza, arenisca, conglomerado, chert, lutita, limolita, grauvaca	1550-2800	750-1050	0,11	500-1200
Pilancones (Falcón)	Aluvion, arena, grava, arcilla, limo	1100 - 2700	800-2500	0,05	5000-6200
Vela de Coro (Falcón)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,09	500-620
Trincheras (Carabobo)	Gnesis, esquisto, anfíbolita, caliza, mármol, meta arenisca, meta conglomerado, filita, jaspelita, metatoba	1550-3040	700-1350	0,13	773-889
Mariara (Carabobo)	Aluvion, arena, grava, arcilla, limo	1100 - 2700	800-2500	0,10	95-258
Agua Caliente (Trujillo)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,10	-
Agua Viva (Trujillo)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,10	-
El cubo, Tarra (Zulia)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,11	200-600
Santa Ana (Portuguesa)	Arenisca, conglomerado, limolita,	1550-2800	433-915	0,07	

	lutita, caliza, marga				
San Diego, Neveri (Anzoategui)	Caliza, arenisca, conglomerado, chert, lutita, limolita, grauvaca	1550-2800	750-1050	0,10	720-1935
Mundo Nuevo (Sucre)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,10	510-2900
Pantoño (Sucre)	Arenisca, conglomerado, limolita, lutita, caliza, marga	1550-2800	433-915	0,12	600-700
Las Minas-Aguas Calientes (Sucre)	Aluvion, arena, grava, arcilla, limo	1100 - 2700	800-2500	0,20	4000

## V. RESULTADOS

### Sistemas hidrotermales convencionales:

Ubicación de los reservorios por temperatura:



Fig. 5 En este mapa se observan en amarillo las fuentes termales en el rango de 100°C a 130°C, en naranja entre 130°C y 180°C y en rojo las mayores de 180°C.

En la Tabla III se observan los resultados del cálculo del potencial energético para los distintos yacimientos realizados con las ecuaciones (1), (2), (3) y (4).

Para los yacimientos de media y alta temperatura se tendrá un estimado de capacidad de generación media aproximada de 512MW, esto considerando únicamente la generación a partir de los sistemas hidrotermales convencionales de alta y media entalpía que se encuentran a profundidades consideradas como factibles económicamente (3km o menos).

Es importante destacar que el tamaño de los yacimientos es un factor crucial para determinar el potencial geotérmico. Sin embargo, no se han realizado los estudios necesarios para poder realizar estimaciones acertadas de las dimensiones de los

yacimientos, lo cual afectará la precisión de nuestras estimaciones de potencial energético.

TABLA III  
CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS YACIMIENTOS

Lugar	$H_o$ ( $10^{17}$ Joules)	R	$H_r$ ( $10^{17}$ Joules)	$H_r$ ( $10^{13}$ W * h)	Capacidad de generación ( $10^6$ W)
Guatrumen	3,18-7,82	0,21	0,67 - 1,65	1,86 - 4,58	11,80 - 29,00
Batatal	6,55 - 13,47	0,25	1,63 - 3,35	4,52 - 9,31	28,70 - 59,00
Pilancones	2,26 - 14,30	0,18	0,41 - 2,62	1,15 - 7,28	7,30 - 46,20
Vela de Coro	2,13 - 5,84	0,18	0,39-1,07	1,09 - 2,98	6,89-18,90
Trincheras	6,47 - 17,90	0,25	1,62 - 4,48	4,50 - 12,40	28,50 - 78,90
Mariara	3,78 - 20,26	0,22	0,84 - 4,50	2,33 - 12,50	14,80 - 79,30
Agua Caliente	2,31 - 6,74	0,20	0,52 - 1,38	1,43 - 3,82	9,10 - 24,20
Agua Viva	2,58-6,87	0,22	0,67 - 1,78	1,86-4,94	11,80 - 31,40
El cubo, Tarra	5,15 - 12,90	0,26	1,33 - 3,38	3,70 - 9,33	23,40 - 59,1
Santa Ana	4,57 - 13,32	0,26	1,18 - 3,44	3,28 - 9,57	20,85 - 60,70
San Diego, Neveri	3,52 - 7,35	0,20	0,70 - 1,46	1,93 - 4,05	12,30 - 25,70
Mundo Nuevo	3,5 - 9,31	0,23	0,81 - 2,16	2,25 - 5,99	14,30-38,00
Pantoño	3,21 - 8,10	0,14	0,54 - 1,59	1,80 - 4,55	7,62 - 19,20
Las Minas-Aguas Calientes	10,40 - 42,10	0,28	2,59 - 12,37	8,90 - 36,00	51,10 - 207,00

### Sistemas no convencionales (SGM):

$$RBA = 916,445 \text{ km}^2 * 5\text{km} * 921 \left( \frac{J}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} \right) * 2134(\text{kg}/\text{m}^3) * \left( \frac{170 - 26}{2} \right)$$

$$RBA = 6,4843 * 10^{23} \text{ Julios}$$

De este recurso de base accesible (5), sólo un porcentaje de este podría ser convertido en electricidad (1).

$$H_o = \left[ (1 - 0,07) 921 \left( \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right) * 2134 \left( \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right) + 0,07 * 1000 \left( \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right) * 4186 \left( \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right) \right] \cdot \frac{(170 - 26)}{2} \cdot 1\,000\,000\,m^2 \cdot 1500m * \left( \frac{1}{1km^2} \right)$$

$$H_o = 2.29 * 10^{17} J/km^2$$

$$H_i = 0,3 * 1 = 6.87 * 10^{16} J/km^2$$

*Capacidad media de generación por Km<sup>2</sup> de yacimiento = 12,1MW*

Cabe destacar que estos 12,1MW/km<sup>2</sup> de yacimiento creado dependen de la porosidad eficaz lograda del suelo, la cual esta

## VI. CONCLUSIONES

1. El potencial geotérmico se concentra en el norte del país, en un cinturón que se extiende desde Los Andes hasta Sucre.
2. Existen 6 localidades identificadas con capacidades de generación que rondan los 50 MW, estas son Las Trincheras (Carabobo), Batatal (Miranda), Pilancones (Falcon), Santa Ana (Portuguesa), El Cubo (Zulia) y Las Minas- Aguas Calientes (Sucre).
3. Se determinaron varios yacimientos con capacidades de generación de 20 MW. Guarumen (Guárico), Pantoño (Sucre), Nuevo mundo (Sucre), San Diego (Anzoátegui), Mariara (Carabobo), Vela de Coro (Falcón).
4. Se sugiere el estudio del yacimiento perteneciente a la fuente de El Cubo, Zulia. El Cubo es particularmente interesante debido a su temperatura superficial superior a 90°C, lo que podría indicar un alto gradiente geotérmico. Esto sería beneficioso para la producción de energía en esta región del país. Si la temperatura del fluido de salida de la planta geotérmica supera los 72°C, este calor residual podría utilizarse para la pasteurización de la leche, aprovechando la vocación ganadera de la zona.

5. Venezuela cuenta con un potencial energético que ronda los 512MW, en un cinturón, donde se centra su potencial geotérmico, que va desde el suroeste hasta el noreste del país. Este potencial se puede aumentar en alrededor de 12,1MW por cada kilómetro cuadrado de sistema SGM instalado.

6. Se sugiere considerar la reutilización de los pozos petroleros existentes para la generación de energía geotérmica. Es particularmente relevante centrar la atención en aquellos pozos que se encuentran en proximidad a yacimientos de alta entalpía, ya que su presencia puede indicar un alto gradiente geotérmico, lo cual es de interés para este propósito. Esta estrategia no sólo podría minimizar los costos iniciales asociados con la perforación de nuevos pozos, sino que también podría facilitar y acelerar la transición hacia una fuente de energía más sostenible y renovable

## REFERENCIAS

- [1] R. C. Berg, J. Rubio, A. Guzman, and K. Cohen, "Turning Up the Heat on Geothermal Energy Development in Latin America," Mar. 2023. Available: <https://www.csis.org/analysis/turning-heat-geothermal-energy-development-latin-america>
- [2] A. Hunter, "The potential of geothermal energy as a low-carbon source," Open Access Government, Jan. 05, 2023. <https://www.openaccessgovernment.org/the-potential-of-geothermal-energy-as-a-low-carbon-source-renewable/150562/#:~:text=In%20comparison%20to%20other%20sources>
- [3] Carlos Izquierdo Apolo and Carlos Izquierdo Apolo, "Energía geotérmica en Ecuador, condiciones actuales y necesidad de una legislación específica," Iuris dictio, pp. 16–16, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.18272/iu.v29i29.2527>.
- [4] R. Torres Muñoz, "Legislación Comparada Autor," Mar. 2022. Accessed: Jan. 28, 2024. [Online]. Available: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32880/1/Geotermia\\_en\\_America\\_del\\_sur\\_Legislacion\\_Comparada.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32880/1/Geotermia_en_America_del_sur_Legislacion_Comparada.pdf)
- [5] Funvisis, "La investigación sísmológica en Venezuela," 2002.
- [6] Franco Urbani P, "A Review of Venezuelan Geothermics," Brazilian Journal of Geophysics, vol. 5, no. 2, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.22564/brjg.v5i2.2235>.
- [7] "Introducción a la Producción Geotérmica," Sarulla, 2022. [En línea]. Disponible: [https://www.its.ac.id/tgeofisika/wp-content/uploads/sites/33/2022/10/Sesi-3\\_Introduction-to-Geothermal-Production\\_Sarulla.pdf](https://www.its.ac.id/tgeofisika/wp-content/uploads/sites/33/2022/10/Sesi-3_Introduction-to-Geothermal-Production_Sarulla.pdf).
- [8] "Energía geotérmica: una opción costosa, pero atractiva para América Latina," World Bank, Aug. 2016. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/08/16/energia-geotermica-america-latina-ventajas-retos>
- [9] S.-M. Lu, "A global review of enhanced geothermal system (EGS)," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 81, pp. 2902–2921, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.097>.
- [10] A. Aghahosseini and C. Breyer, "From hot rock to useful energy: A global estimate of enhanced geothermal systems potential," Applied Energy, vol. 279, p. 115769, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115769>.
- [11] Oil and Gas Technology and Geothermal Energy Development," Congressional Research Service, January 31, 2023. Disponible: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47405>.

- [12] Latin American Energy Organization (OLADE) Climate Change Initiative 2004 The Clean Development Mechanism (CDM) An International Perspective and Implications for the LAC Region Final Report,” Pembina Institute, August 2004. Disponible: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0399.pdf>.
- [13] Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto,” Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid, junio de 2010.. Disponible: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e9\\_geotermia\\_A\\_db72b0ac.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf).
- [14] I. Domanski, M. Cappadona, O. Fuller, and Z. Krix, “Geothermal Power: Factors affecting the performance of Binary Plants,” PAM Review: Energy Science & Technology, vol. 2, p. 32, Aug. 2015, doi: <https://doi.org/10.5130/pamr.v2i0.1394>.
- [15] Geotermia - Gradiente y flujo de calor,” Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. [En línea]. Disponible: <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Geotermia/Geotermia-Gradiente-y-flujo-de-calor>.
- [16] “Climogramas estados de Venezuela.” (2015). En INAMEH.
- [17] D. Hernandez and S. Sanchez, “Distribución, caracterización y marco geológico de las aguas termales en Venezuela,” Universidad Central de Venezuela, 2004.
- [18] Ministerio de Minas e Hidrocarburos, ‘Mapa geológico y tipos de roca de Venezuela,’ 1963. [En línea]. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/12502/1/1865\\_Mapas%20Geol%C3%B3gicos%20y%20Tipos%20de%20Rocas%20de%20Venezuela.JPG](http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/12502/1/1865_Mapas%20Geol%C3%B3gicos%20y%20Tipos%20de%20Rocas%20de%20Venezuela.JPG).
- [19] S. Sun and D. A. Pollitt, “Optimising development and production of naturally fractured reservoirs using a large empirical dataset,” Petroleum Geoscience, vol. 27, no. 2, pp. petgeo2020-079, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1144/petgeo2020-079>.
- [20] W. Chavarro, “Evaluación del material energético para el fracturamiento con gas en arenas consolidadas de alta permeabilidad de gas,” Universidad Central de Venezuela, 2006.
- [21] L. L. Sanders, “A Manual of Field Hydrogeology,” 1998.