



RENAAG
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

**Bogotá
2018**

Inclusión de nuevo talento humano al desarrollo de la geotermia

Servicio Geológico Colombiano

Claudia Alfaro

Coordinadora Proyecto Investigación y Exploración de Recursos Geotérmicos

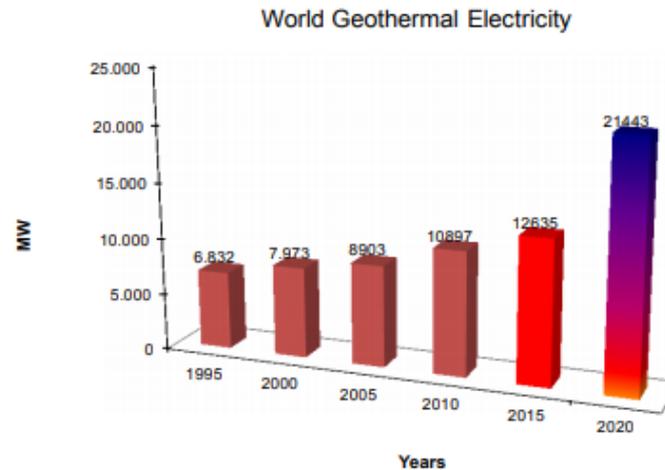




- ✓ Hacer un primer planteamiento de las necesidades de nuevos talentos (y perfiles profesionales) para la investigación y exploración geotérmica del territorio colombiano.
- ✓ Motivar una acción de la comunidad geotérmica colombiana, para promover en las universidades el desarrollo de los talentos requeridos, a través de ajustes a los programas curriculares e integración de líneas de investigación en las carreras de geociencias e ingenierías.

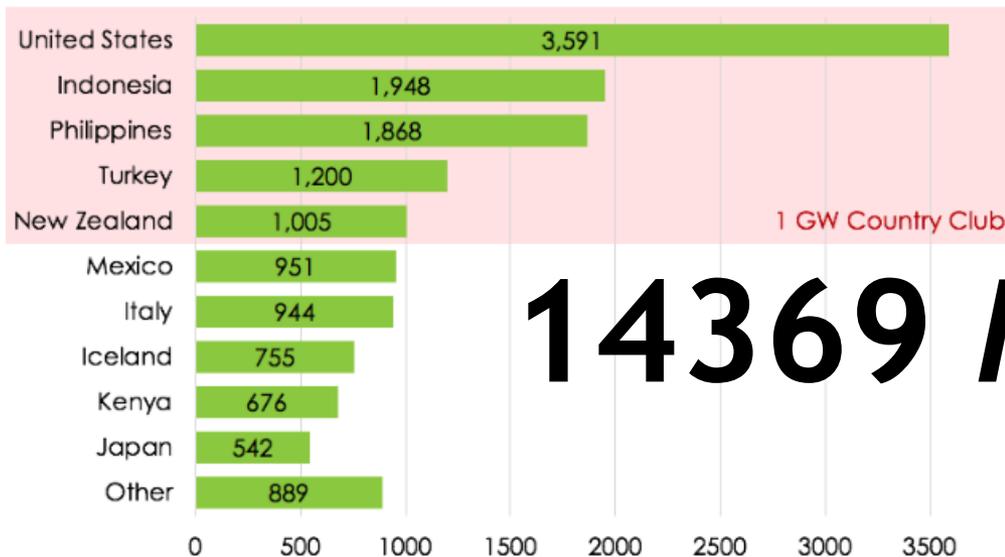
Advertencia: No incluye aspectos legales, financieros, ambientales ni sociales, que forman parte fundamental de la exploración y en general, del desarrollo geotérmico. Tampoco incluye necesidades particulares de las industrias de usos directos y termalismo.

Crecimiento de la generación eléctrica a partir de Fuente geotérmica



<https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/01001.pdf>

Bertani, 2015

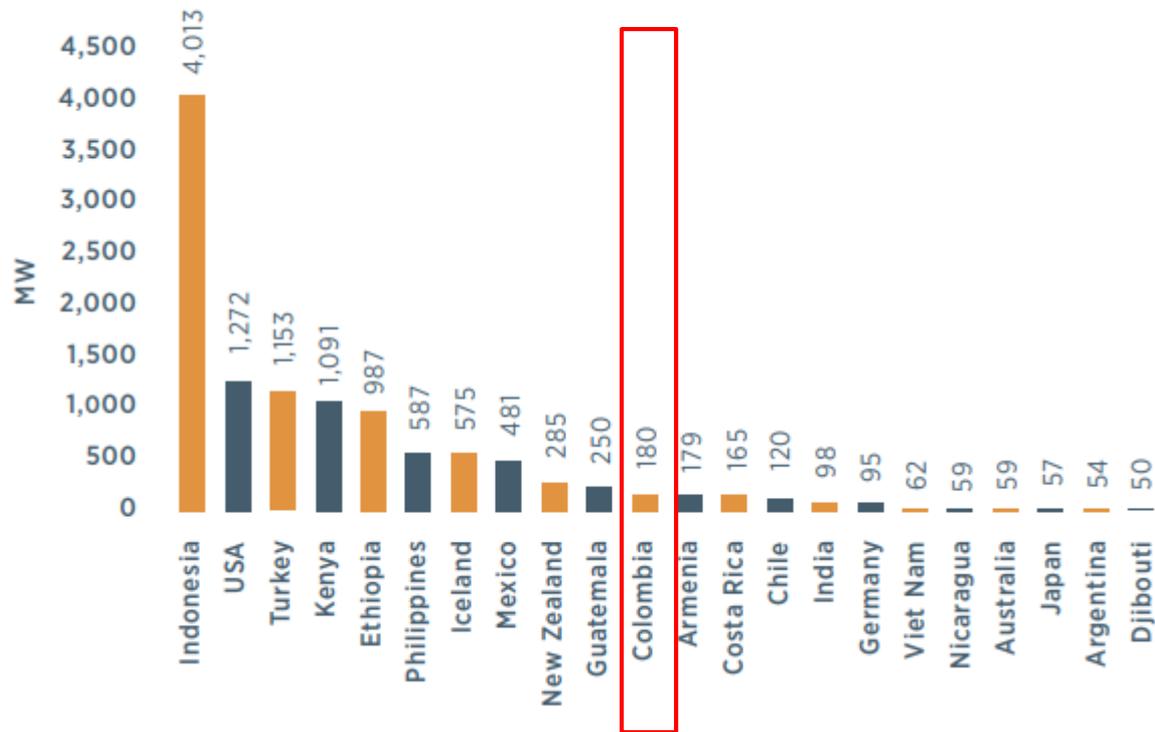


14369 MW En 2018

Source: TGE Research (2018), GEA (2016), IGA (2015), JESDER (2018)

<http://www.thinkgeoenergy.com/global-geothermal-capacity-reaches-14369-mw-top-10-geothermal-countries-oct-2018/>

Proyección de adiciones a la capacidad eléctrica a partir de fuente geotérmica por país



http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf

BASES DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2018-2022

Pacto por
Colombia
pacto por
la equidad



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia
DNP

Pacto por los recursos minero-energéticos para el crecimiento sostenible y la expansión de oportunidades.

Promover el desarrollo y la competitividad de la industria minero-energética

- Consolidación del conocimiento geocientífico

Estrategias y programas: Nuevas tendencias energéticas

Estrategia: Estudiar las nuevas alternativas de fuentes energéticas (geotermia)

- Definición de un marco regulatorio para los proyectos geotérmicos.

Empleos en la industria de energía a partir de fuente geotérmica

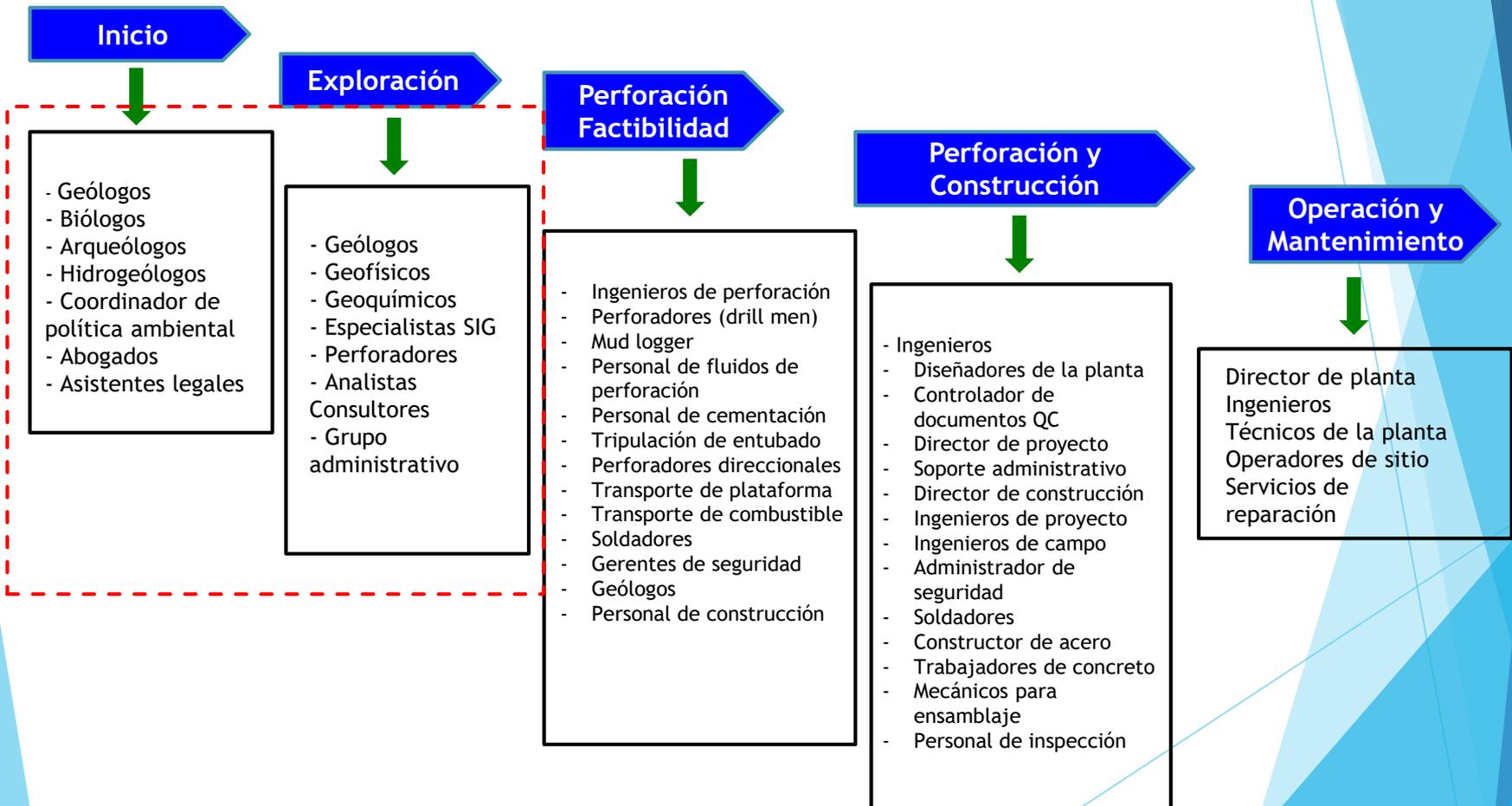
AÑO 1

AÑO 2

AÑO 3

AÑO 4

AÑO 5



Número de empleos involucrados en el desarrollo de una planta geotérmica de 50 MW

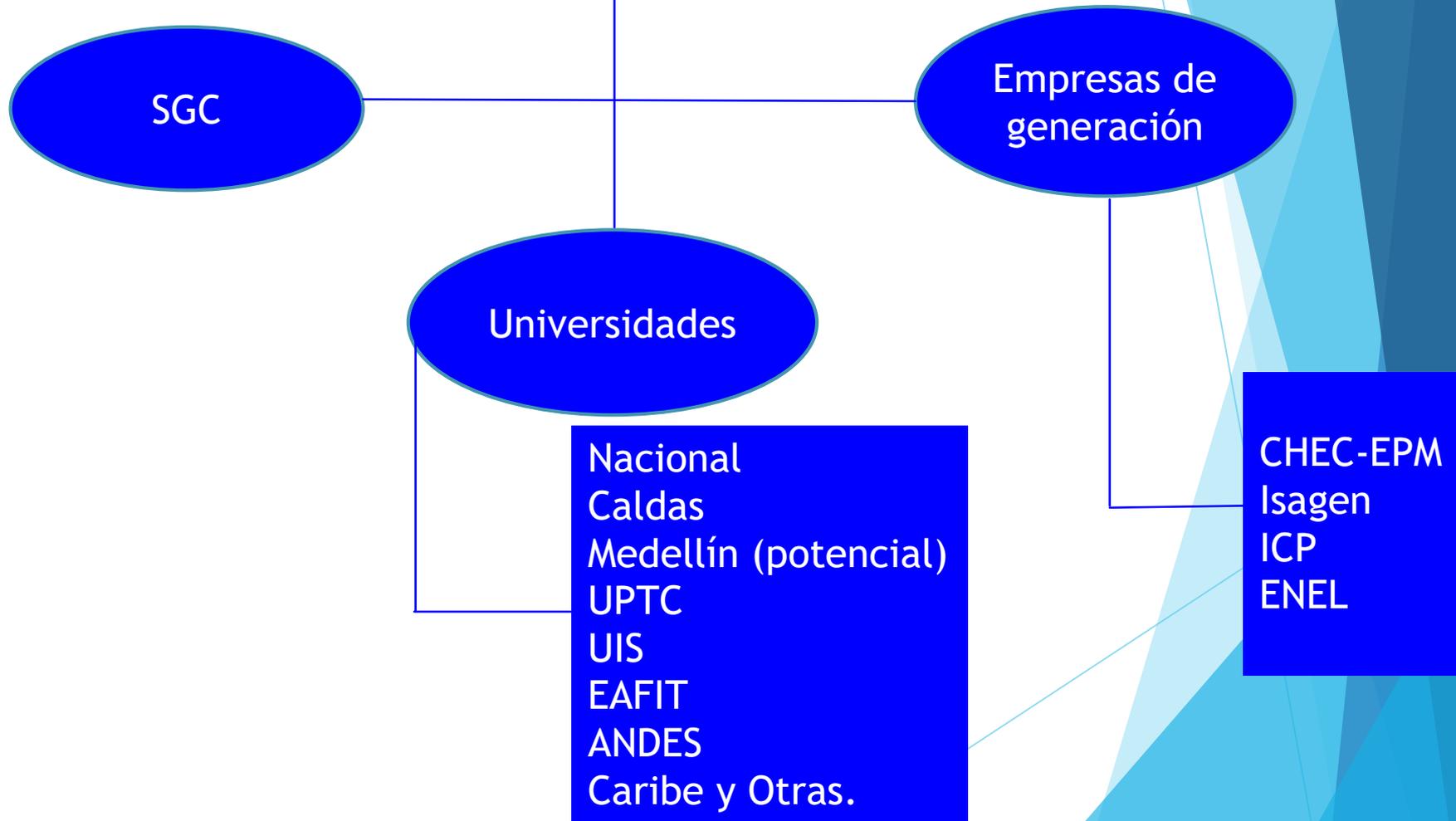
Estado de desarrollo	No. de empleos
Inicio	10-13
Exploración	11-22
Perforación	91-116
Diseño y construcción del edificio de la planta	383-489
Operación y mantenimiento	10-25
Construcción de la sistema de generación de la planta	192-197
TOTAL	697-862

GEA, 2010. Green Jobs through Geothermal Energy

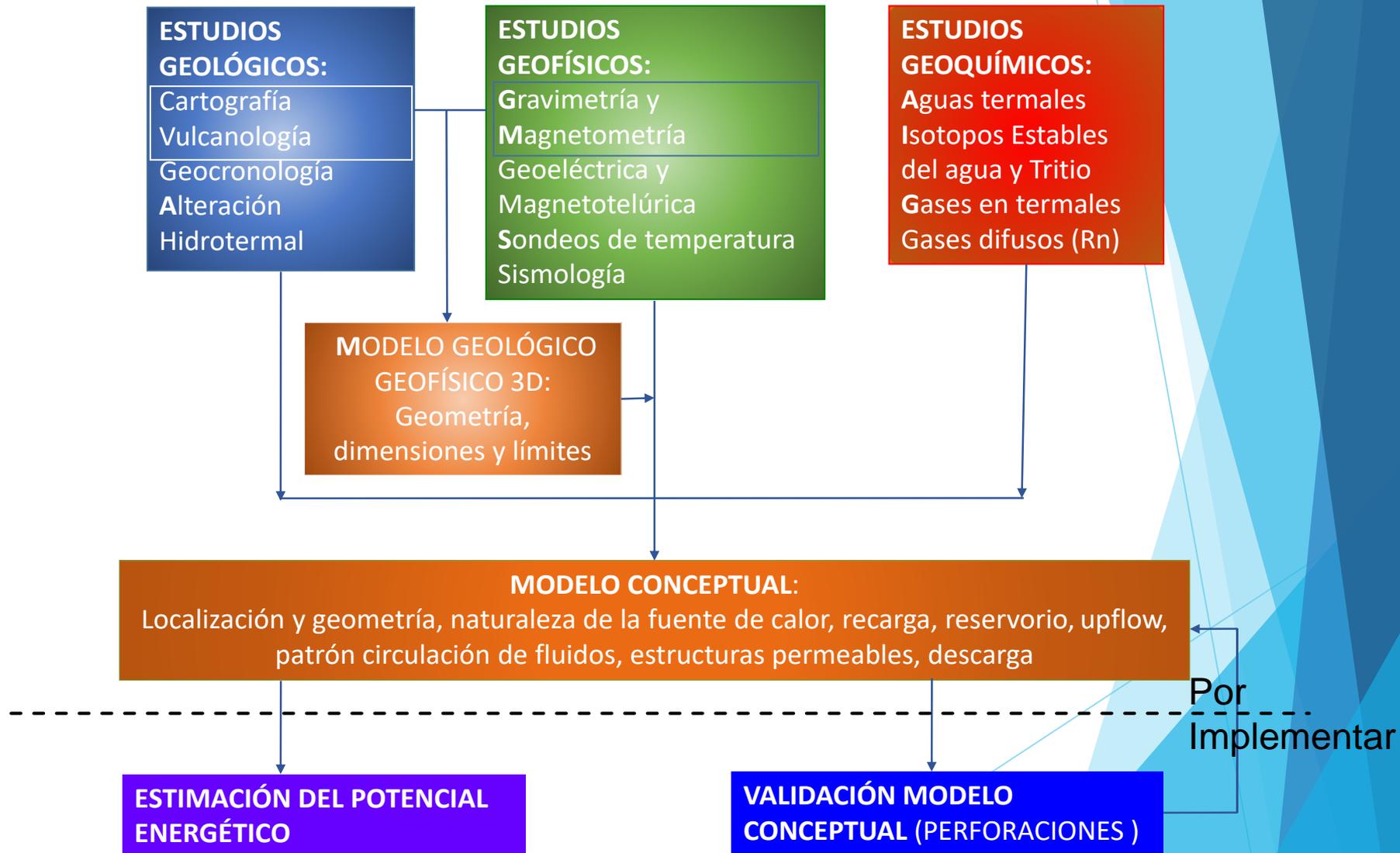
1 MW crea 4,25 empleos tiempo completo

Umam et al., 2018.

Capacidad humana instalada en Colombia para la exploración geotérmica



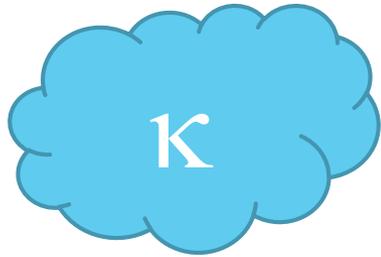
Metodología exploración geotérmica. SGC



Nuevos talentos requeridos para la exploración de recursos geotérmicos

Talento	Profesionales involucradas	Alcance
1 Marco conceptual extendido	Ciencias de la Tierra: geólogos, geofísicos, geoquímicos e ingenieros	Interpretación integral de estudios de investigación y exploración
2 Metodologías para la identificación de favorabilidad de áreas geotérmicas potenciales y modelamiento conceptual	Ciencias de la Tierra, profesionales de la industria del petróleo	Revisión e implementación /adaptación de metodologías para identificación regional de áreas geotérmicas
3 Perforación geotérmica	Ingenieros/operarios/geólogos	Migración de profesionales de la industria de hidrocarburos a la geotermia
4 Caracterización fisicoquímica de reservorios geotérmicos: Ingeniería de reservorio	Ingenieros (químicos y mecánicos), profesionales de ciencias de la Tierra	Modelo matemático de condiciones fisicoquímicas del sistema. Capacidad de predicción de respuesta a condiciones de explotación.
5 Estimación del flujo de calor terrestre	Ciencias de la Tierra, ingenieros de petróleos y ambientales, hidrólogos, hidrogeólogos	Caracterización del flujo de calor terrestre en áreas geotérmicas y como soporte a la exploración de recursos geotérmicos conductivos.

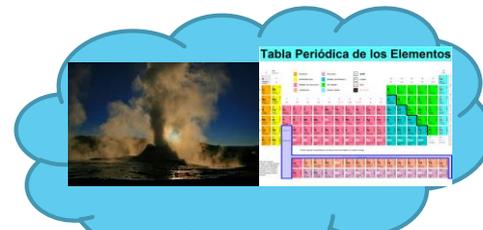
1. Marco conceptual extendido



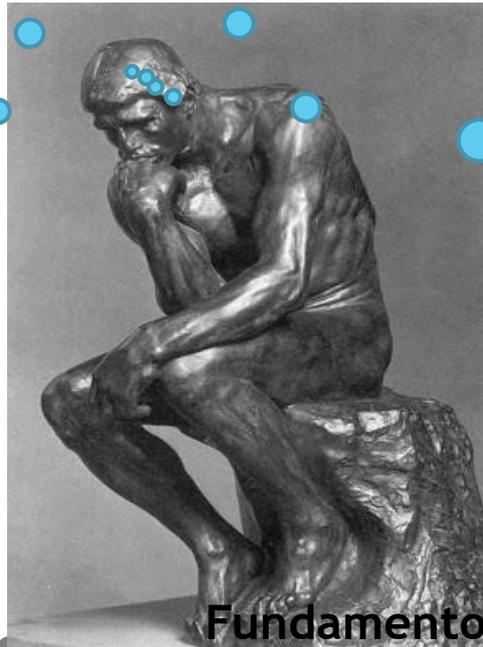
Permeabilidad



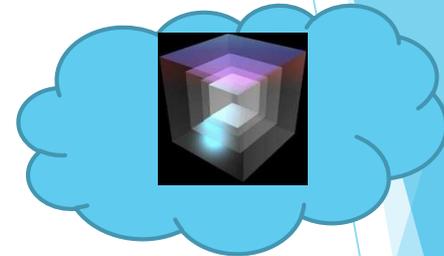
Estado termal



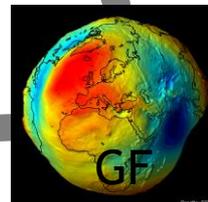
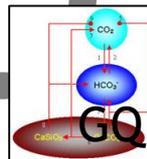
Vapor? Agua? T°? Composición?



Fundamento



Dimensiones?



2011

Geothermal Education and Training Guide



GEA
GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION



GEOELEC

Deliverable n° 5.5
Date : November 2013

Angela Spalek, Felina Schütz & David Bruhn (GFZ)

List of European universities offering training and education in the field of geothermal energy

The sole responsibility for the content of this publication etc lies with the authors. It does not necessarily reflect the opinion of the European Union. Neither the EACI nor the European Commission are responsible for any use that may be made of the information contained therein.



Programas en geotermia, cursos y/o oportunidades de investigación en Estados Unidos:

Boise State University.....
Brown University.....
Colorado School of Mines.....
Cornell University.....
Georgia Institute of Technology.....
Massachusetts Institute of Technology.....
Montana Tech University.....
National Geothermal Academy.....
New Mexico Institute of Mining and Technology.....
New Mexico State University.....
Northern Arizona University.....
Oregon Institute of Technology.....
The Pennsylvania State University.....
Rice University.....
San Diego State University.....
Southern Methodist University.....
Stanford University.....
Temple University.....
Texas A&M University.....
University of Alaska, Fairbanks.....
University of California, Berkeley.....
University of California, Davis.....
University of Idaho.....
University of Nevada, Reno.....
University of North Dakota.....
University of Utah.....
Utah State University.....
Virginia Polytechnic Institute and State University.....
Washington State University.....
West Virginia University.....

Escuelas internacionales e instituciones con programas de geotermia establecidos

- Bicol University, Filipinas
- Negros Oriental State University, Filipina
- RES: The School for Renewable Energy Science, Islandia
- REYST: Reykjavik Energy Graduate School of Sustainable Systems, Islandia
- United Nations University Geothermal Training Program, Islandia
- University of Adelaide, Australia
- University of Auckland, New Zealand
- Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University.

Geothermal Technical training schools and institutions

Programas de educación y entrenamiento en geotermia en Italia

Universidades de:

Bari Genova Roma Firenze Trieste
Camerino Pisa Bologna Torino

Centros de excelencia

- ✓ Africa's Geothermal Center for Excellence. Kenia.
- ✓ The University of Queensland. Australia.
- ✓ Western Australian Geothermal Centre of Excellence
- ✓ Indonesia Geothermal Centre of Excellence
- ✓ Los Andes (CEGA). Universidad Católica. Chile
- ✓ Center of Excellence for Geothermal Energy (CEGE). Pandit Deendayal Petroleum University. India
- ✓ International Geothermal Centre (GZB). Bochum. Alemania

Diplomado en geotermia para América Latina
Universidad de El Salvador

Cursos en línea. Centro Mexicano de Innovación en Energía
Geotérmica (CeMIEGeo)

Educación en bombas de calor geotérmicas

International Ground Source Heat Pump Association

American Ground Water Trust

Clarkson University

Clean Edison

Geothermal Training Institute

Greenville Technical College

HeatSpring Learning Institute

National Ground Water Association (NGWA)

Oklahoma State University

Additional Education and Training Resources and Links

Geothermal Energy Association (GEA)

www.geo-energy.org

Reports: <http://geo-energy.org/reports.aspx>

Geothermal Energy Weekly: <http://geo-energy.org/updates.aspx>

GEA Geothermal Web, Student Resources

<http://geothermalweb.org/Students.aspx>

Geothermal Education Office (GEO)

<http://geothermal.marin.org/>

U.S. Department of Energy: Energy Education & Workforce Development

http://www1.eere.energy.gov/education/colleges_universities.html

U.S. Department of Energy: Scholarships and Internships

<http://www.energy.gov/scholarships&internships.htm>

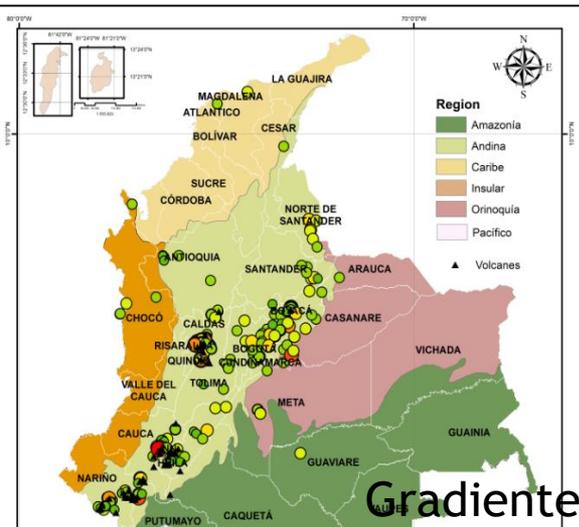
International Geothermal Association: Information and Education Links

http://www.geothermal-energy.org/311,links - topic_order.html#edu

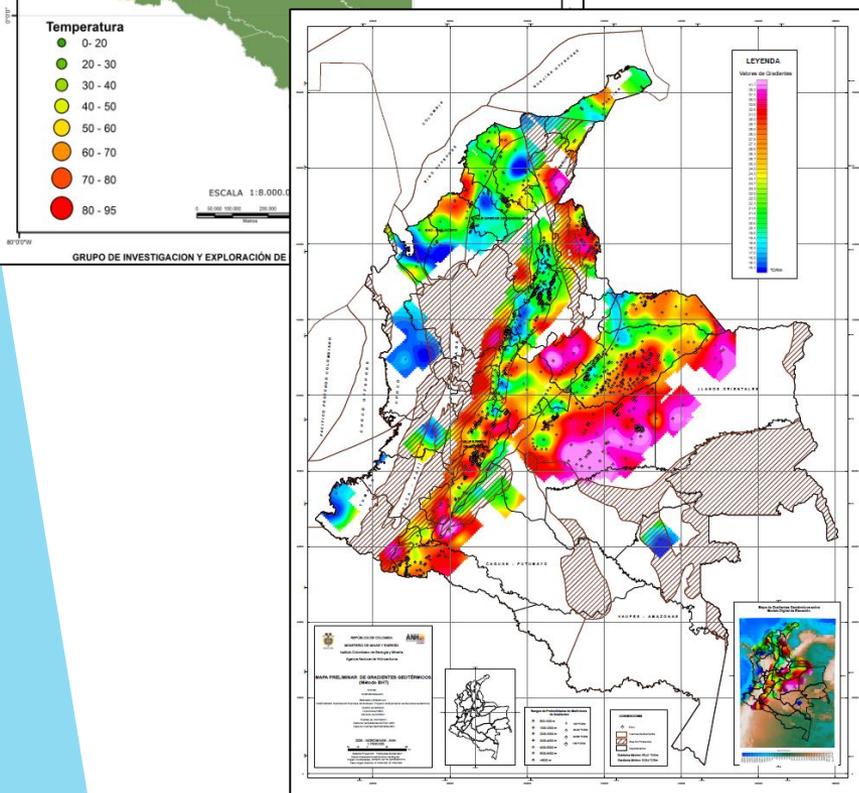
U.S. DOE Geothermal Technologies Program: Related Links

http://www1.eere.energy.gov/geothermal/related_links.html#education

Manantiales termales

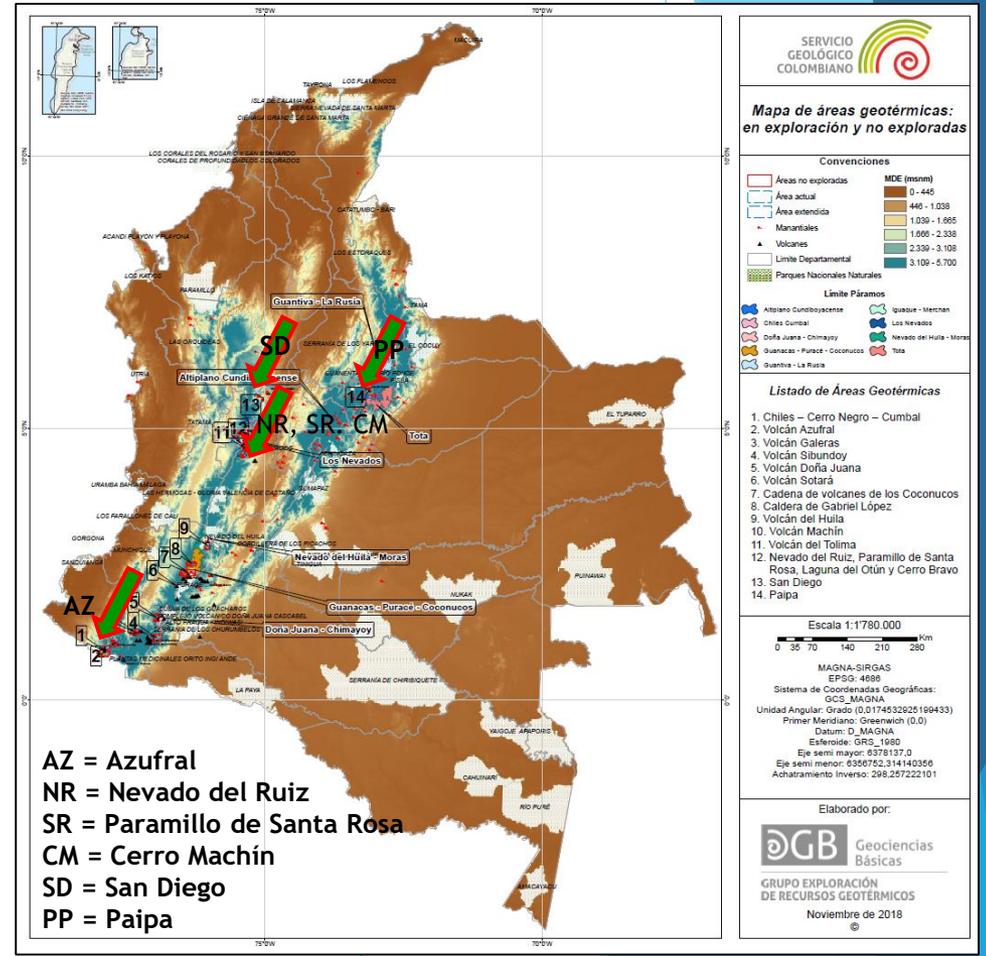


Gradiente Geotérmico



2 Metodologías para la identificación de áreas geotérmicas potenciales y modelamiento potencial.

Mapa de áreas geotérmicas



Modelamiento espacial basado en datos para identificar zonas de favorabilidad

Play* fairway analysis (PFA):

análisis de datos para definir un área de un reservorio potencial con la posibilidad de tener un sistema geotérmico completo

Criterios que integra el análisis: calor, permeabilidad y fluidos

Alcance del análisis: regional y local

*áreas prospectivas potenciales de geología similar

Favorabilidad de un recurso. Esquema del Play fairway analysis para una Zona de Arco

Calor

Centros volcánicos

Vulcanismo reciente

Manantiales termales

Geoquímica de
Manantiales termales

Temperaturas de pozo

Depósitos de sinter

Presencia/Tipo/ extensión del área
De fumarolas

Permeabilidad

Ambiente estructural local

Ambiente tectónico

Densidad de fallas cuaternarias

Tasa de deslizamiento (slip) en fallas
cuaternarias

Angulo de convergencia de la placa

Calderas de edad Pleistoceno

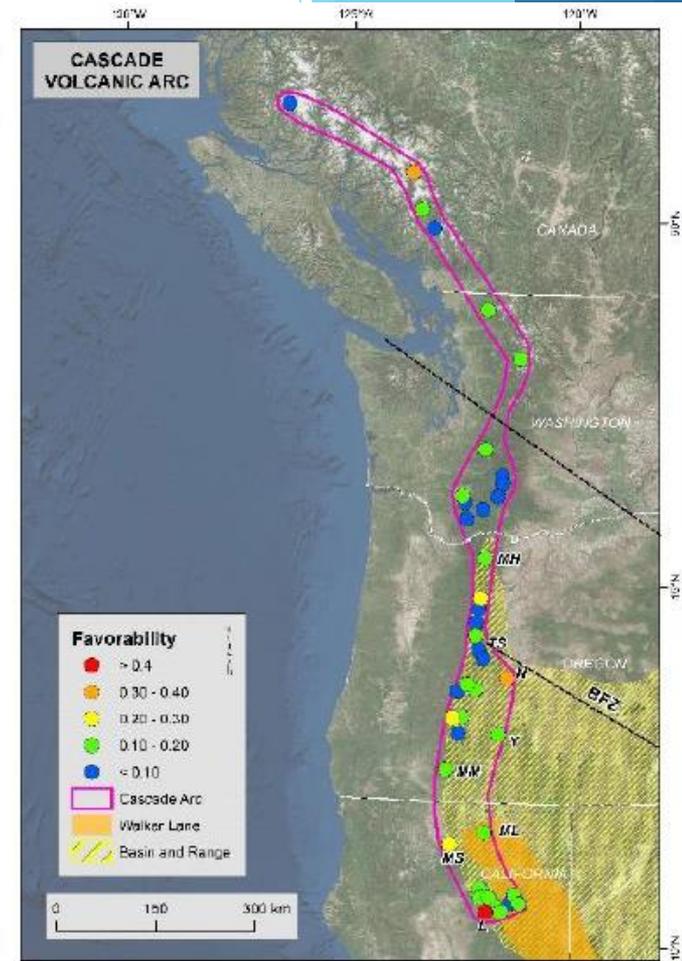
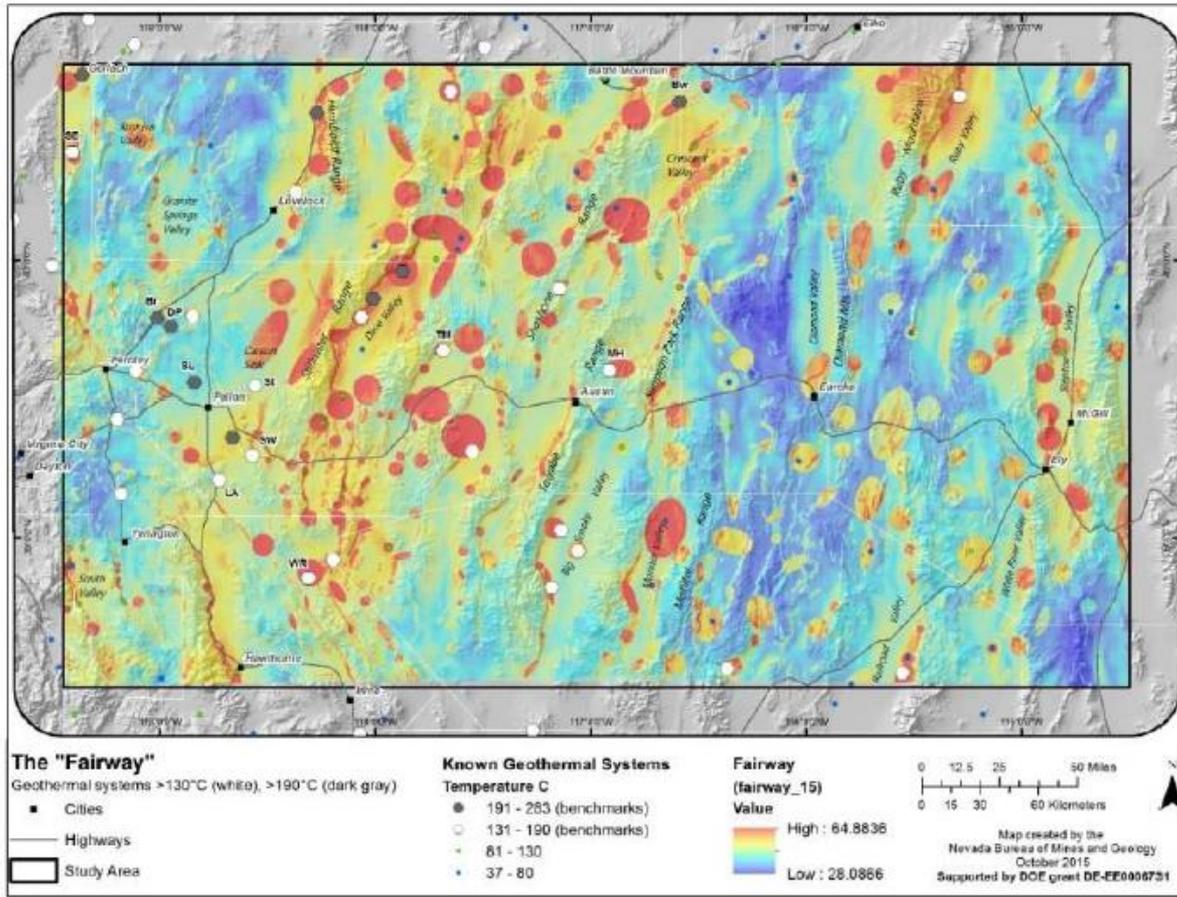
Fluidos

pH

Salinidad

Los conjuntos de datos de entrada se integran en el espacio de probabilidad y se ponderan de acuerdo con el análisis de los puntos de referencia y / o la opinión de expertos.

Mapa de Favorabilidad existencia de recursos geotérmicos en Nevada



Hinz et al., 2016. Regional quantitative play fairway analysis

La migración/conversión de la fuerza de trabajo de los perforadores desde la industria de petróleo y gas a la industria de geotermia demanda:

Educación / Entrenamiento

Trabajo supervisado

Estándar de competencia específico

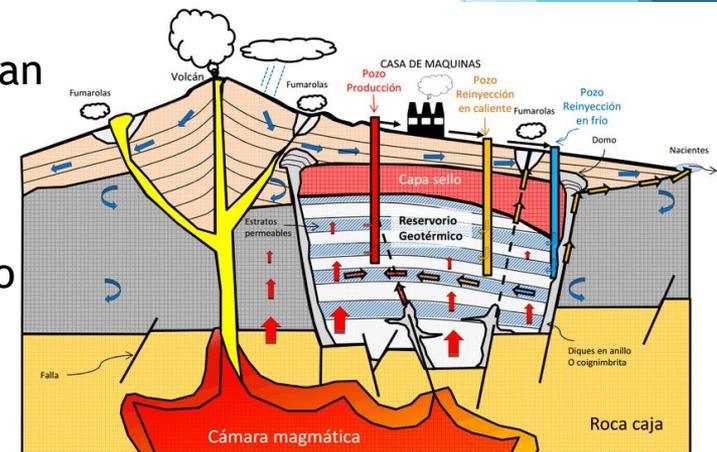


DIFERENCIAS ENTRE LAS PERFORACIONES PETROLERA Y GEOTÉRMICA

Variable	Petróleo	Geotérmico
Tipo Roca / litología	Blandas: Capas sedimentarias arcillolitas y arenitas	Duras: volcánicas / ígneas/ metamórficas
Presión del reservorio	Alta (podría alcanzar 90 MPa = 900 bares)	Relativamente bajas, menor a la presión hidrostática ($\sim 9792 \text{ KPa/Km} = 97.92 \text{ bar/km}$)
Temperatura del reservorio	Pueda alcanzar 175-200°	Puede alcanzar >300° C
Fluido de perforación	Mezclas de bentonita	Lodo aireado o agua con aire o nitrógeno mezclado
Broca de perforación	Típicamente cortador de diamante policristalino (PDC)	Cono de rodillo o broca de arrastre, impregnada con diamante
Orientación de la perforación	Vertical, desviada, horizontal	Típicamente vertical o en forma de J.
Revestimiento	Tubería de producción perforada (5-7")	Liner ranurado, tubería revestimiento de gran diámetro (8-12")
Cementación	Revestimiento protector contra corrosión de hidrocarburos	Tranformacion del revestimiento limitada. Deformación debido a alta temperatura evita la fatiga termal
Terminación	Perforando y limpiando con agua salada	Instalación de liner ranurado y limpieza con salmuera
Caudal producción	150 gal/min	1500 gal/min
Período de producción	Alto flujo inicial durante meses que decae en pocos años	Producción constante 20-30 años

4 Caracterización fisicoquímica de reservorios geotérmicos: ingeniería de reservorio

- ✓ Definir condiciones termodinámicas y propiedades del fluido geotérmico.
- ✓ Estimación del calor almacenado
- ✓ Prever para controlar incrustaciones y corrosión de acuerdo con la química del fluido.
- ✓ Medición de flujo termal
- ✓ Definir procesos físicos que están relacionados con el sistema geotérmico y utilizarlos para desarrollar el modelo conceptual
- ✓ Determinar propiedades físicas y químicas de rocas y fluidos del reservorio.
- ✓ Desarrollar modelos matemáticos y físicos del reservorio a partir de los datos existentes. Este modelo debe incluir condiciones iniciales y límite del reservorio, ser ajustado con la adición de nuevos datos obtenidos de perforaciones y prever la respuesta del reservorio a producción
- ✓ Elaborar plan de desarrollo del reservorio
- ✓ Definir número de pozos a perforar para alcanzar el plan
- ✓ Programar la tasa de producción de los pozos
- ✓ Estimar recuperación del calor
- ✓ Estimar cambios de temperatura del reservorio
- ✓ Prever técnicas de recuperación de calor del reservorio

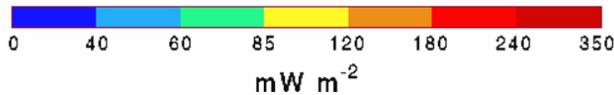
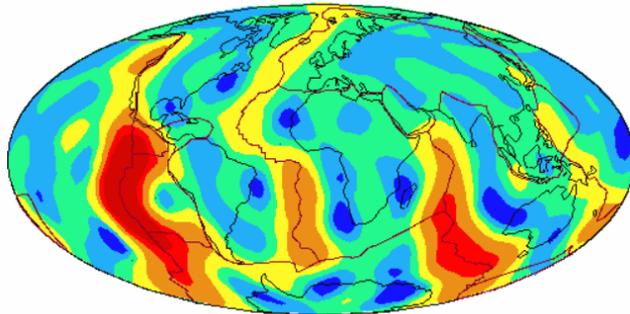


Esquema de un campo geotérmico en ambiente volcánico

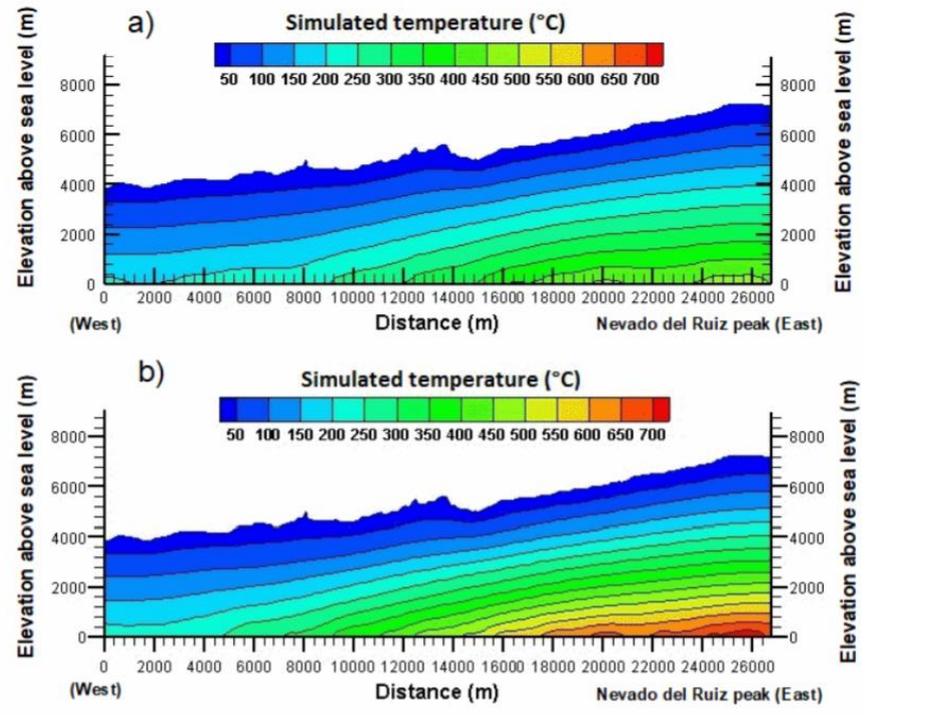
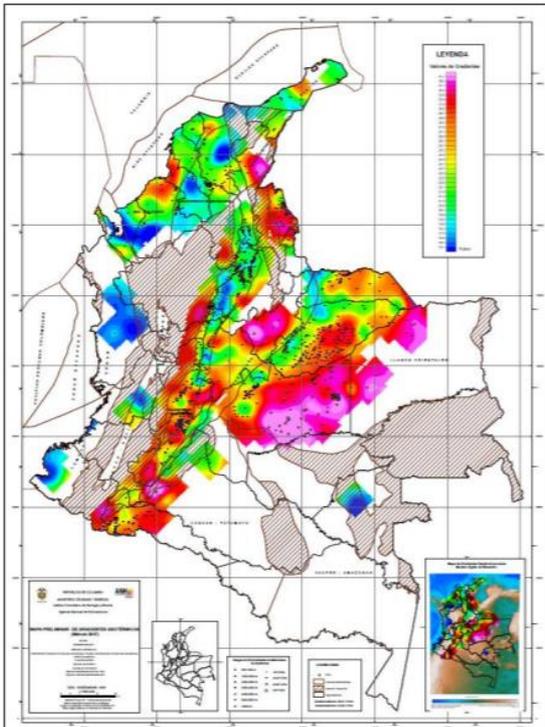
5 Estimación regional del flujo de calor terrestre

Estimación y modelamiento del flujo de calor terrestre del territorio

Modelamiento calor del conductivo



<http://www.geophysik.rwth-aachen.de/IHFC/heatflow.html>



Simulaciones de temperatura (°C) en cortes del Nevado del Ruiz

Vélez, M. I., Blessent, D., Córdoba, S., López-Sánchez, J., Raymond, J., & Parra-Palacio, E. (2018).

En conclusión:

- ✓ El desarrollo de la energía geotérmica es una necesidad y un propósito global y nacional que trae consigo una oportunidad significativa de generación de empleo.
- ✓ El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 contempla la definición de un marco legal para el desarrollo de la geotermia y la continuidad en la investigación geotérmica.
- ✓ Se requieren nuevos talentos: mejorar la interpretación de los resultados de la exploración, implementar metodologías para definir favorabilidad de áreas geotérmicas, perforación geotérmica, elaborar modelos numéricos para conocimiento y administración de reservorios, caracterizar el flujo de calor terrestre del territorio, entre otros.



RENAG
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

Bogotá
2018



Datos de Contacto

Entidad: Servicio Geológico Colombiano

Email: calfaro@sgc.gov.co

Website: www.sgc.gov.co

Celular: + 57- 3112292118

57-1-2200153.



4 Modelamiento del potencial geotérmico

