



**RENAG**  
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

**Manizales  
2017**



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA

# Escenario Geotérmico en México

Gómez-Arias E., González-Fernández A., Romo M.J., Gómez-Ávila M.C.,  
Pérez-Flores M., González-Escobar M.

Catedrático CONACYT-CICESE

*5 de diciembre de 2017*



FONDO  
DE SUSTENTABILIDAD  
ENERGÉTICA

**SENER**  
SECRETARÍA DE ENERGÍA



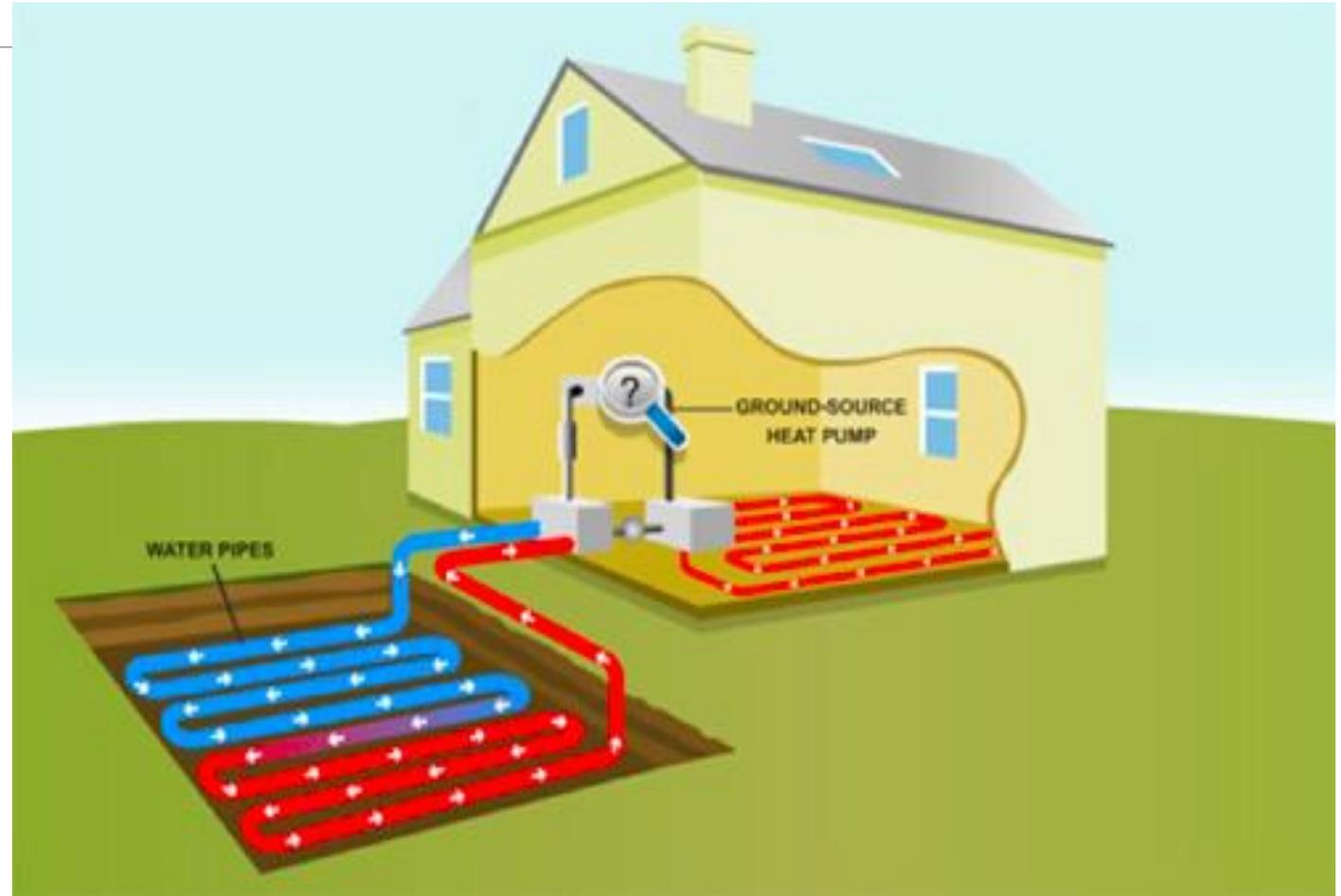
## Contenido

- Introducción
- Escenario geotérmico en México y el mundo
- CeMIE-Geo
- Conclusiones

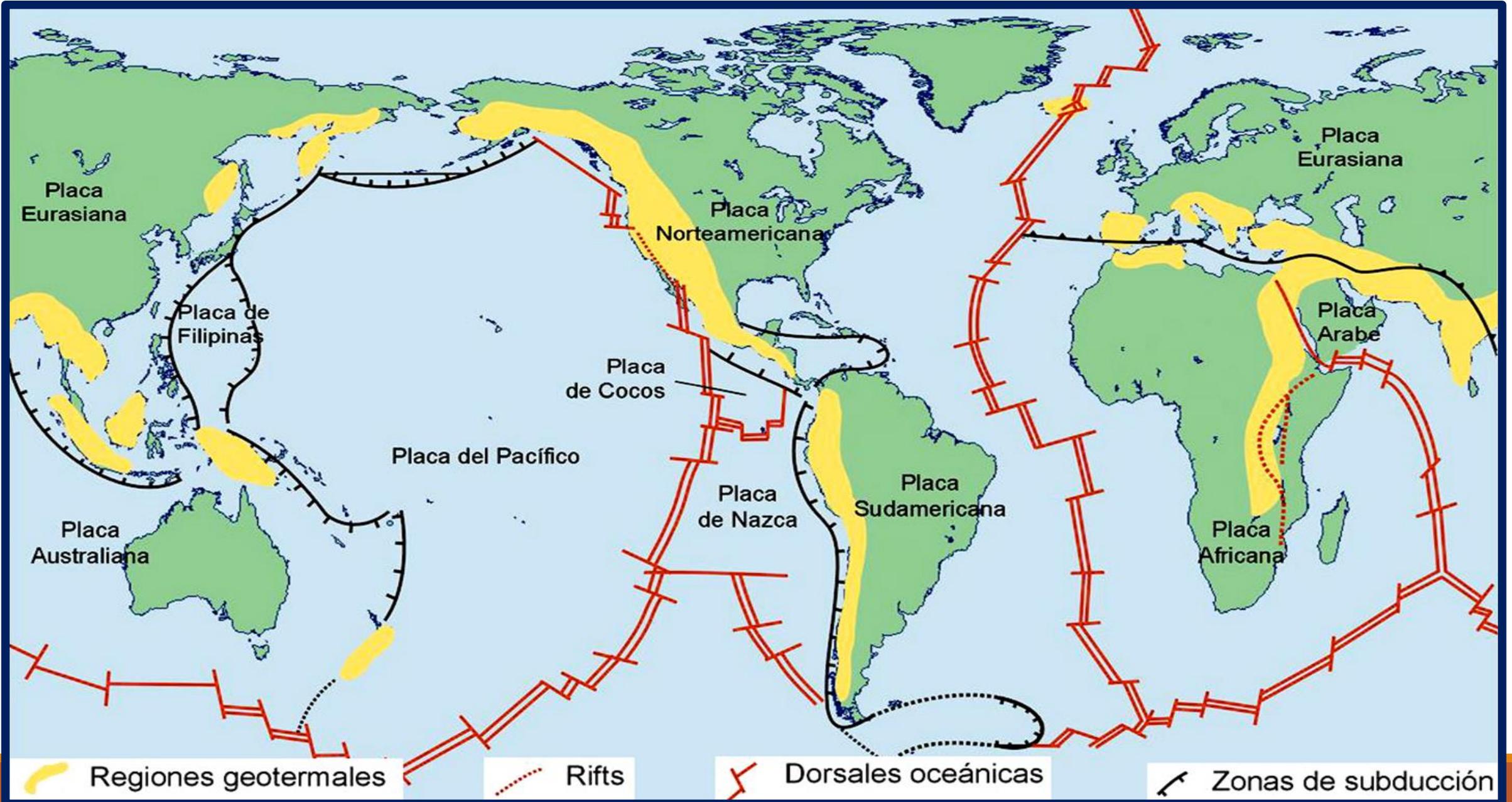
## ¿Para qué se usa la energía geotérmica?

La energía geotérmica puede utilizarse de manera **indirecta** para **transformarse en energía eléctrica**, o bien

**de manera directa** en cualquier aplicación o proceso industrial que utilice agua caliente o vapor.



# Fuentes potenciales



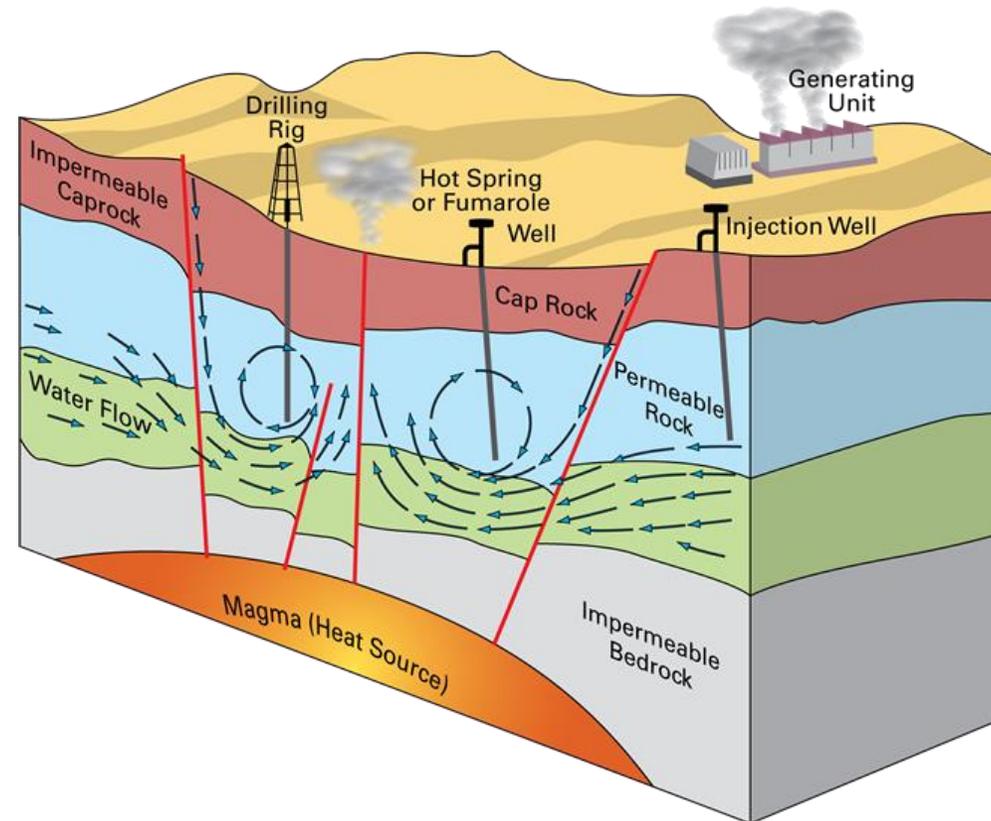
# Generación eléctrica

## Recursos de alta entalpía

### Condiciones Geológicas Particulares

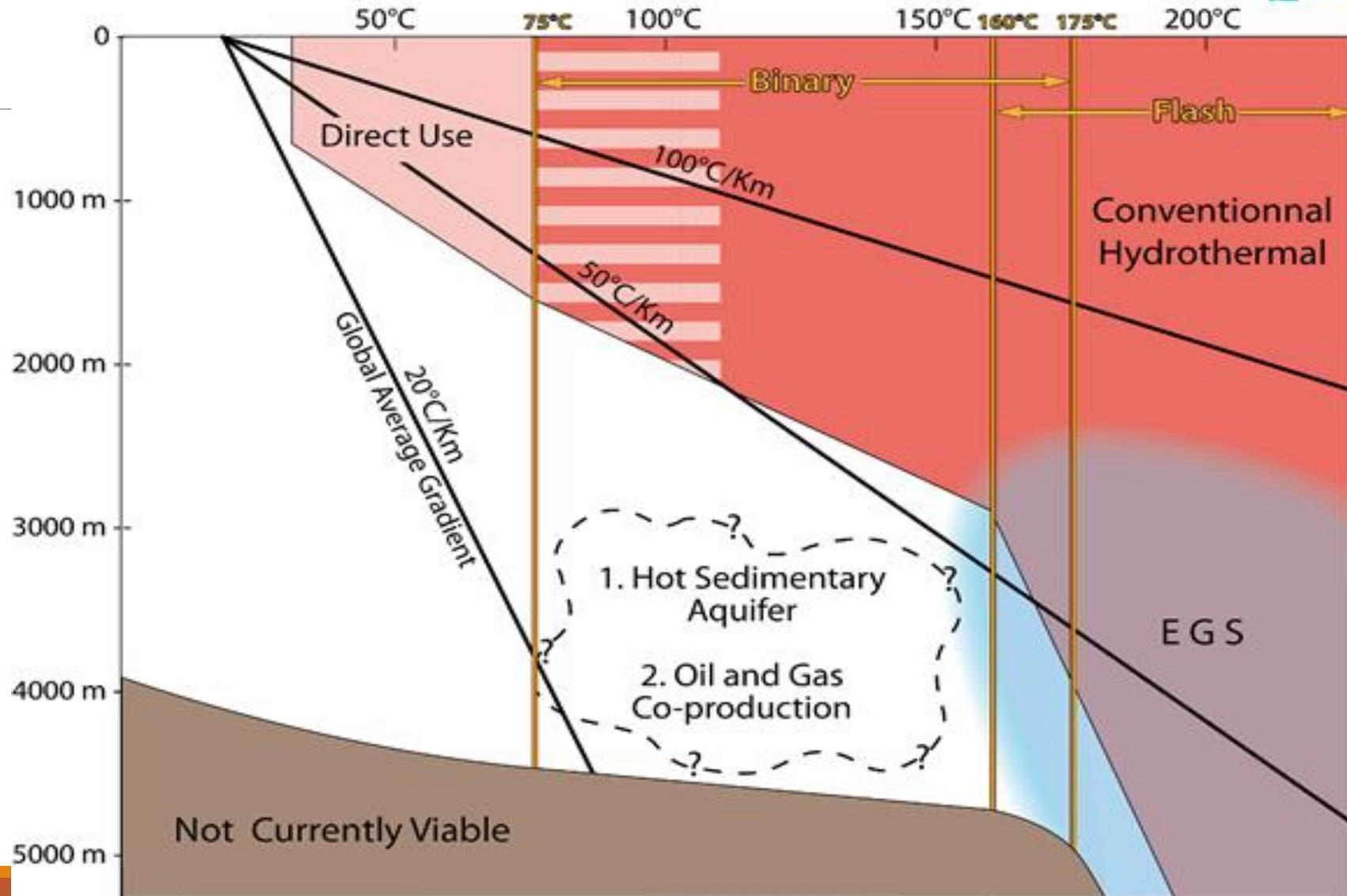
#### Sistemas geotérmicos hidrotermales

- Fuentes de calor relativamente cercanas a la superficie (5 - 10 km): intrusivos jóvenes o cámaras magmáticas.
- Presencia de fluidos capaces de transportar el calor hacia la superficie.

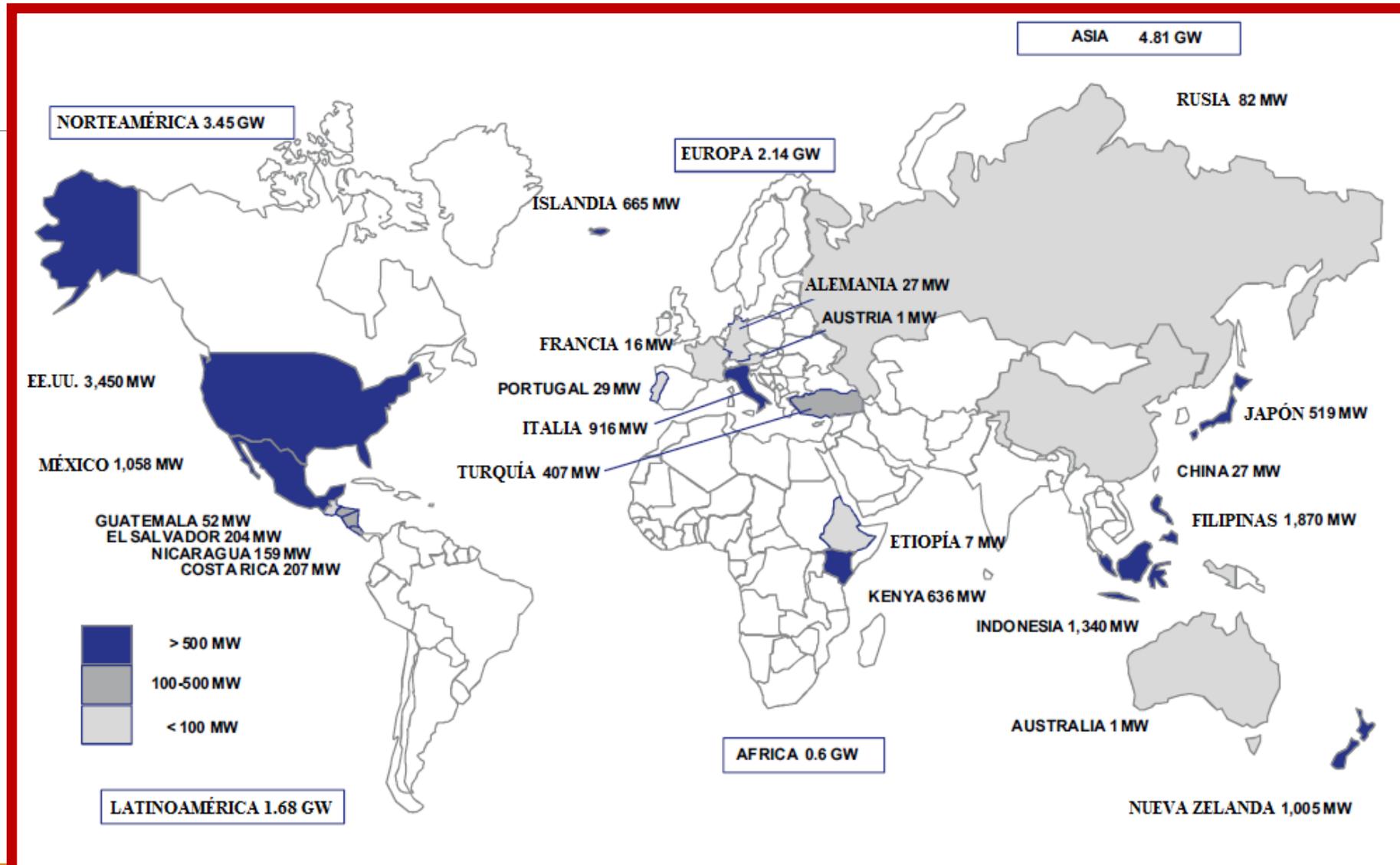


# Utilización de acuerdo a la temperatura

Schematic Depth-Temperature Plot for Geothermal Resources

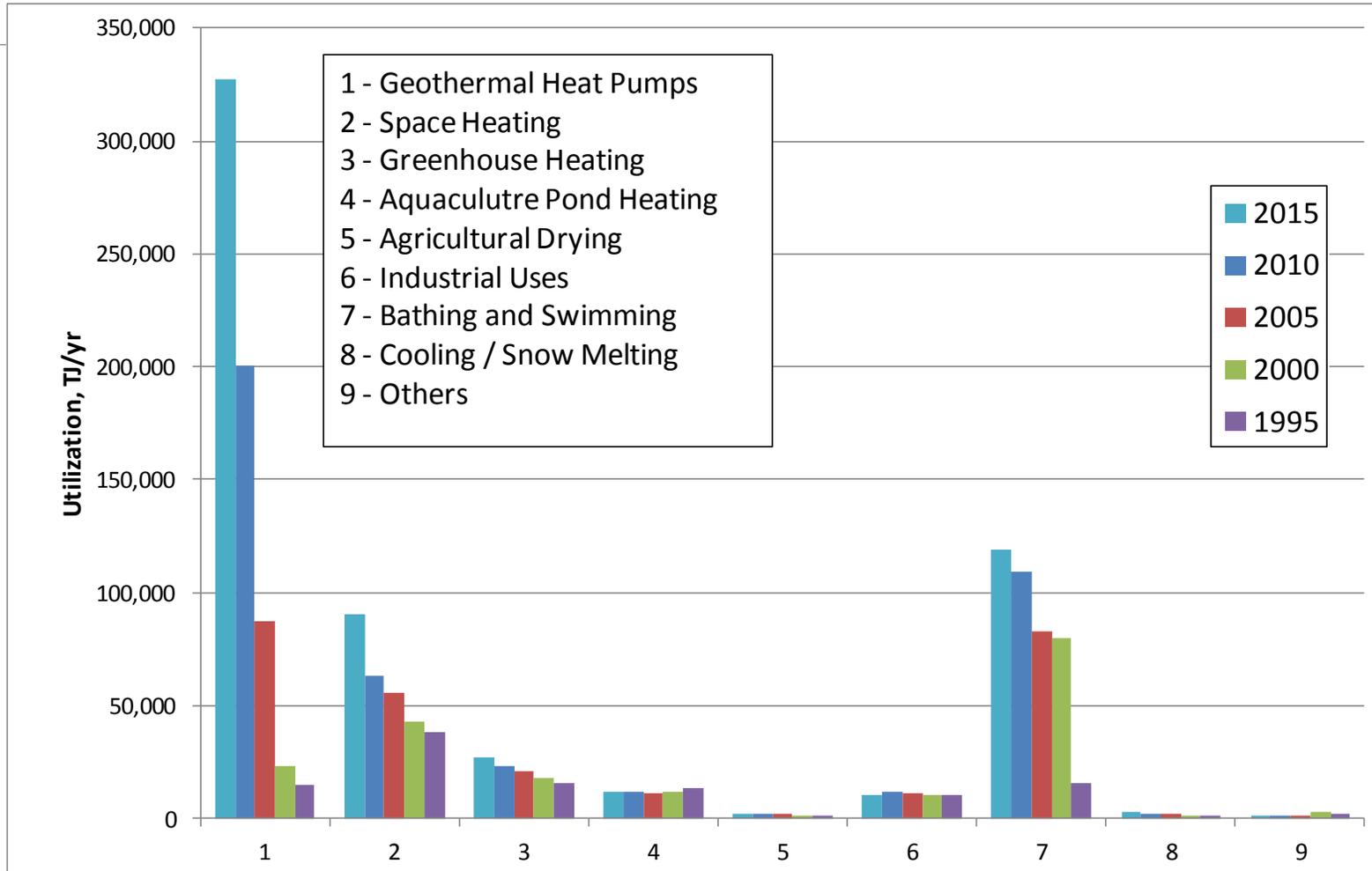


# Escenario geotérmico en México y el mundo



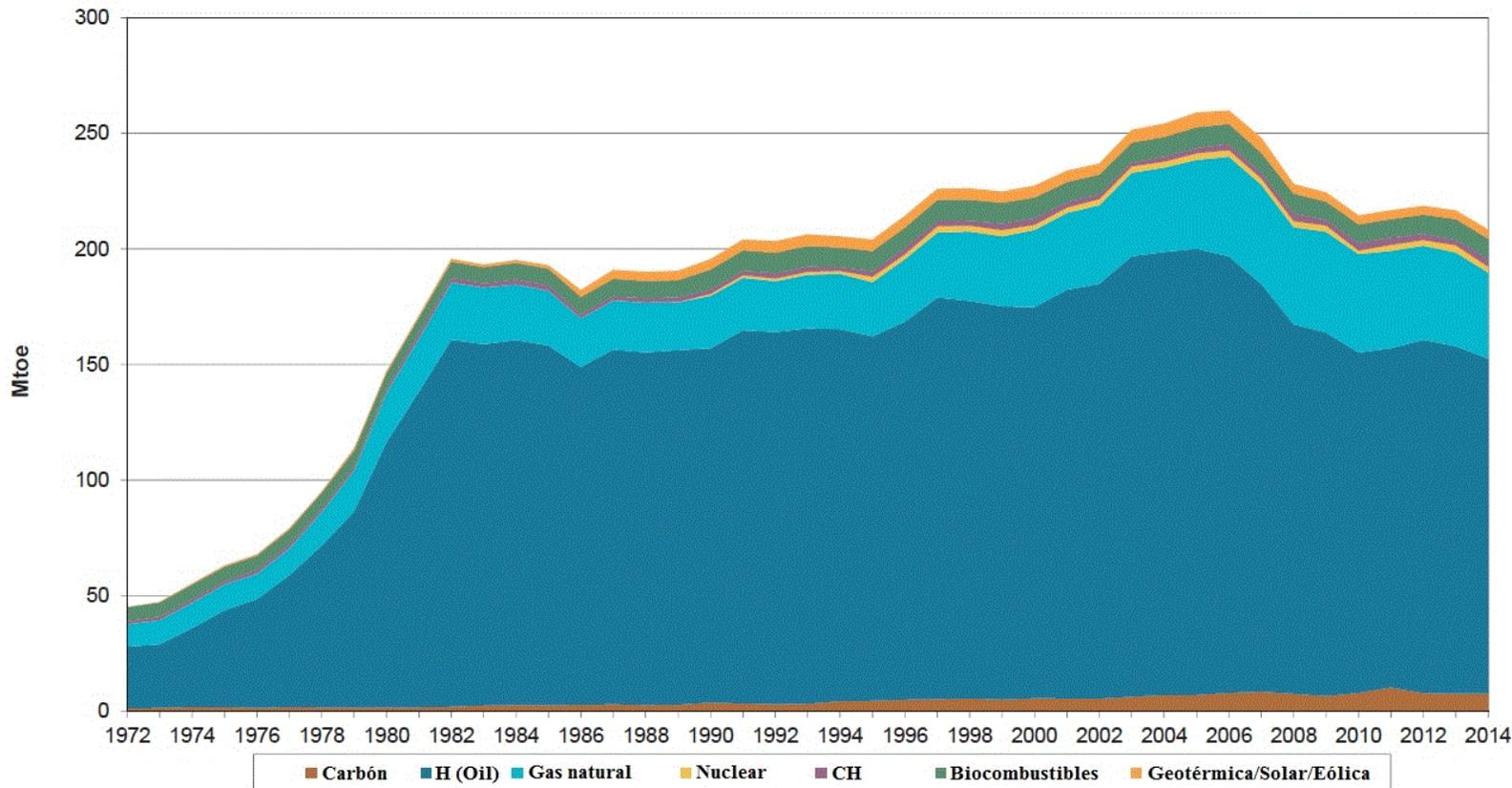
Capacidad de energía geotérmica instalada en el mundo en 2015 [12,729 MW] (modificado de Bertani, 2016).

## Utilización directa del calor geotérmico Evolución mundial de distintas aplicaciones



(Lund y Boyd, 2016)

## Generación de energía en México



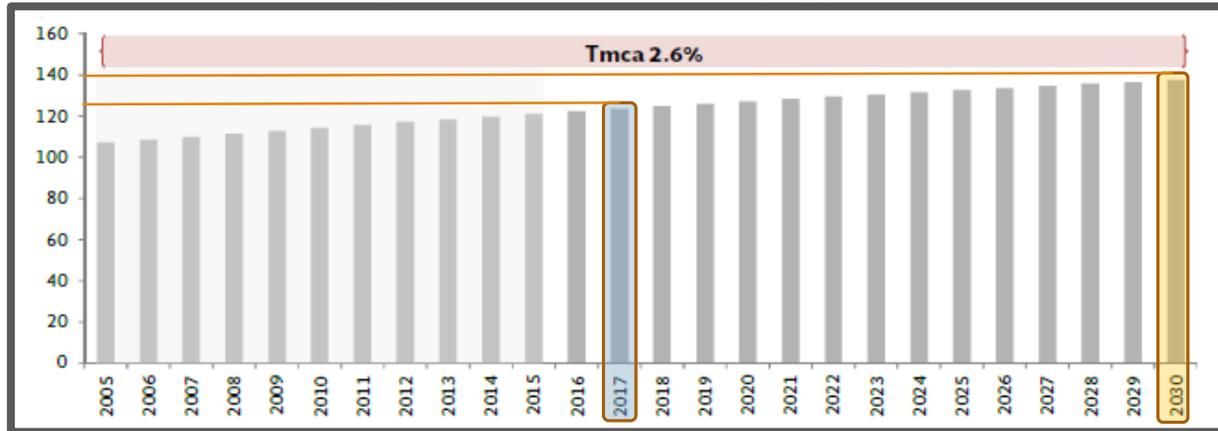
Generación de energía eléctrica (Mtoe) en México para el periodo 1972 – 2014 (modificado de IEA, 2016).

### Demanda de generación de energía eléctrica de 188 Mtoe:

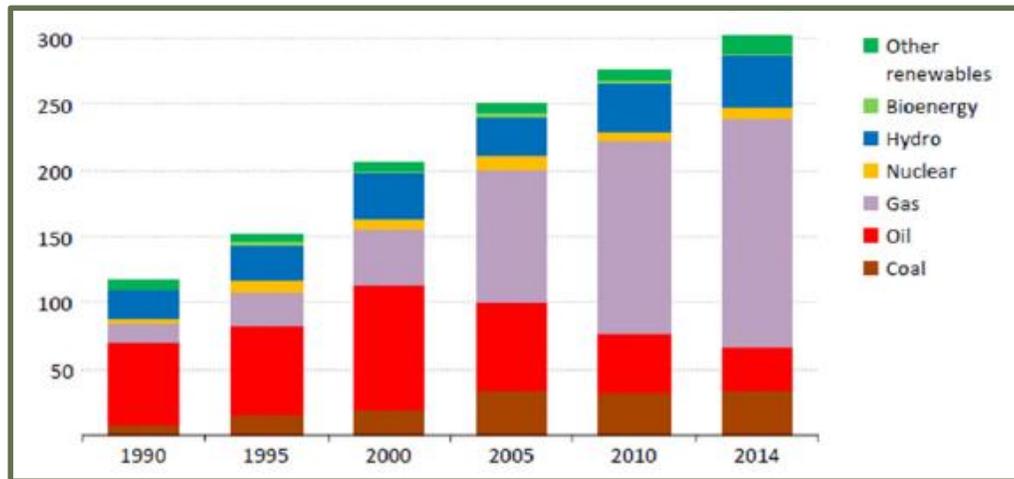
- 51% (95.88 Mtoe) generado a partir de hidrocarburos
- 32% (60.16 Mtoe) de gas natural
- 7% (13.16 Mtoe) del carbón
- 1% (1.88 Mtoe) nuclear
- 5% (9.40 Mtoe) de biocombustibles
- 4% (7.52 Mtoe) de energías renovables que involucran la geotermia, solar y eólica

# Fuentes energéticas en México

## Pronóstico de población en México (mp) 2005-2030



## Generación histórica por tipo de combustible



## Evolución de las Energías Renovables 2005-2015



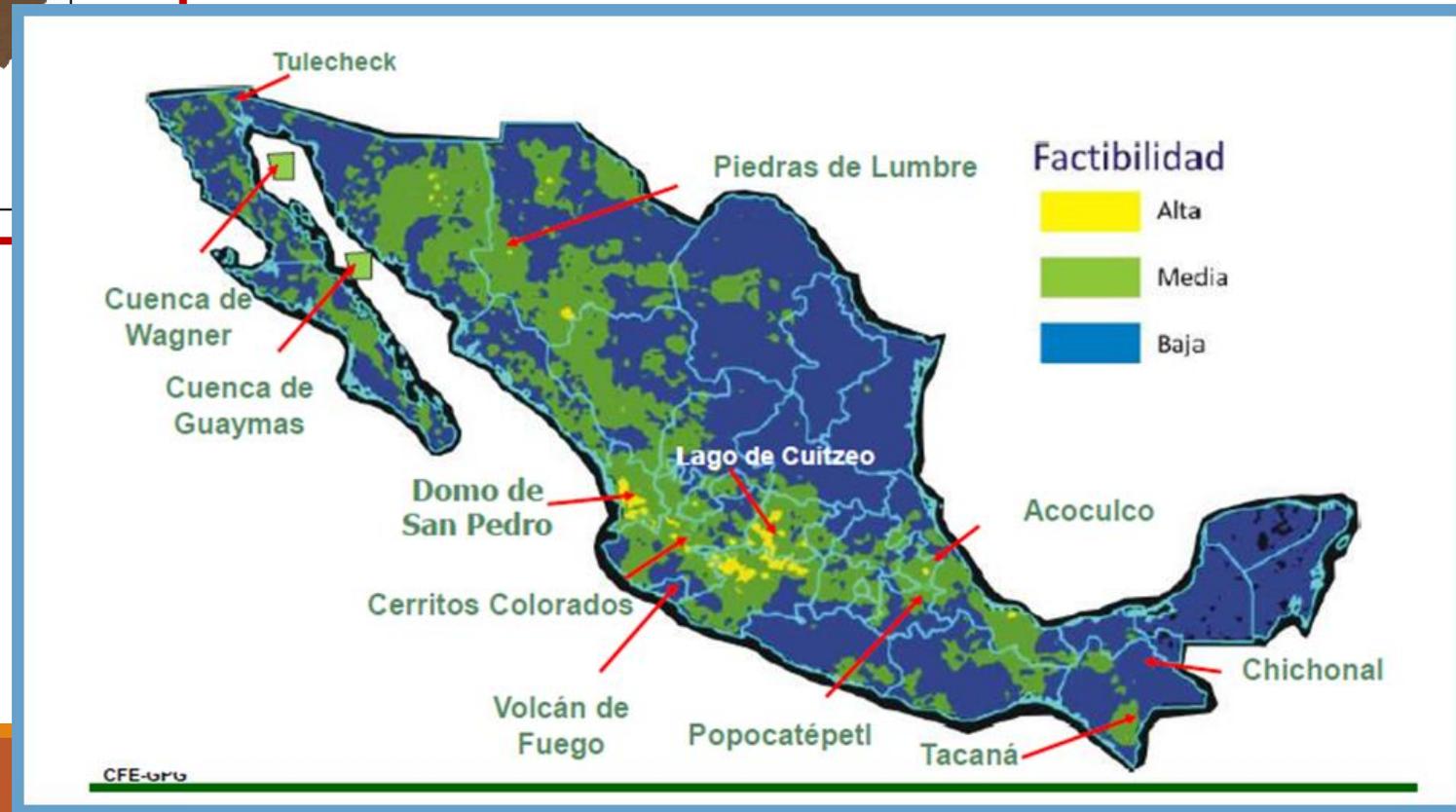
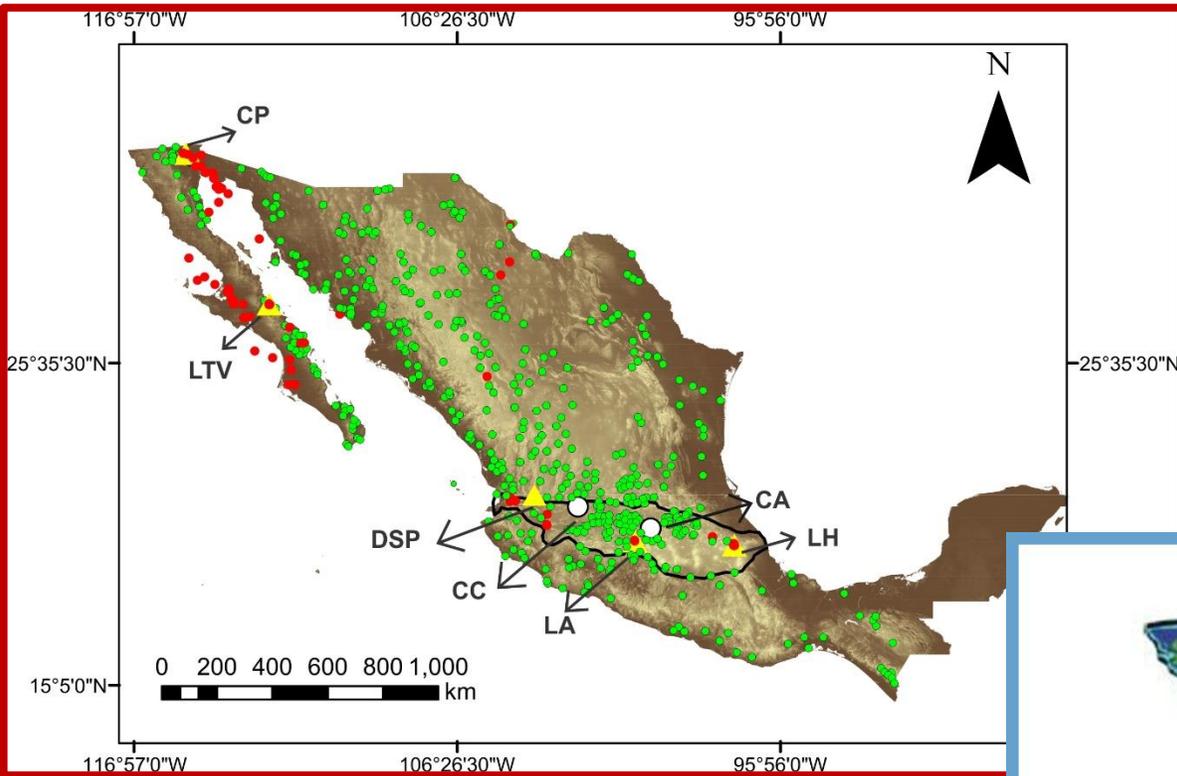
# Campos Geotérmicos en Operación (México)

Campo Geotérmico	Operación	Capacidad Instalada (MW)	Capacidad Efectiva (MW)
Cerro Prieto, BC.	1973	720	573
Los Azufres, Mich.	1982	227	225
Los Humeros, Pue.	1990	94	68
Las Tres Vírgenes, BCS.	2001	10	7
Domo San Pedro, Nay.*	2015	10	5



**Capacidad total instalada: 1 061 MW**  
**Capacidad total efectiva 878 MW**

# Áreas con potencial geotérmico





---

<http://cemiegeo.org/>

## Antecedentes

---

- CeMIE-Geo es una alianza academia-industria financiada por la Secretaria de Energia del gobierno Mexicano (SENER) y el Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- Consiste de 7 instituciones academicas, 1 empresa publica (CFE) y 17empresas privadas.
- Es encabezado por el CICESE, el mayor de los centros CONACYT, fundada en 1973 y dedicada a la investigación científica y a la educación superior.

## Instituciones Integrantes



CICESE

INEEL (IIE)

UdeG

UMSNH

UNAM

UPBC

CIATEQ

- CFE
- BajaInnova, SAPI de CV
- Cluster de Energías Geotérmica y Renovables, AC
- Especialistas en Turbopartes, SA de CV
- Exploración Perforación y Estudios del Subsuelo, SA de CV
- Geoconsul, SA de CV
- Geología Minería y Consultoría, SA de CV
- Generadores de Negocios en Energía Renovable y Ambientales, SC
- Geotem Ingeniería, SA de CV
- GS Energía, SA de CV
- Prados Camelinas, SA de CV

## Misión

---

Unificar y desarrollar conocimiento en materia de energía geotérmica, logrando sinergías que permitan orientar las actividades de **innovación, investigación científica y desarrollo tecnológico**, así como promover la formación de recursos humanos, con el fin de contribuir a la generación de valor económico y al fortalecimiento de la industria geotérmica del país.

## Visión

Ser la organización mexicana de referencia en materia de energía geotérmica contribuyendo al adecuado aprovechamiento de este recurso como una de las principales fuentes de energía renovable utilizada en el país.

# Proyectos



Evaluación de los recursos geotérmicos nacionales

Desarrollo e innovación de técnicas de exploración



Desarrollos tecnológicos para explotación

Usos directos del calor geotérmico



Programas de formación de recursos humanos

Sistema de laboratorios especializados



## Evaluación de Recursos Nacionales



**Motivación:** La información básica acerca de las temperaturas, el flujo de calor y gradiente geotérmico que se encuentra actualmente disponible es escasa e incompleta. Se necesitan campañas de adquisición de datos y estudios más exhaustivos de flujo de calor, provincias geotérmicas, así como una mejor censo de manifestaciones termales y acuíferos, para tener una estimación actualizada del potencial geotérmico del país, inicialmente para sistemas hidrotermales y más adelante para recursos no-convencionales como roca seca caliente y otros tipos de recursos geotérmicos, incluyendo recursos submarinos.

### Los 4 proyectos específicos en este tema son:

P01: Mapas de gradiente geotérmico y de flujo de calor de México. PI: Rosa Ma. Prol, UNAM

P02: Mapa de las provincias geotérmicas en México a partir de la geoquímica y de la distribución de acuíferos. PI: Ruth Villanueva, UNAM

P07: Evaluación del potencial de los Sistemas Geotérmicos Mejorados (EGS) para la producción de energía en México. PI: Eduardo Iglesias, IIE

P20: Evaluar el potencial y la sobre-explotación de la capacidad de energía geotérmica de México utilizando isótopos de gases nobles. PI: Aída López, UMSNH

## Desarrollo e innovación de técnicas de exploración



**Motivación:** Es necesario desarrollar tecnologías de exploración para reducir la incertidumbre en la localización del recurso y en la estimación de su tamaño, su temperatura y sus características químicas. Los proyectos propuestos planean experimentar nuevas técnicas geológicas, geofísicas y geoquímicas para explorar recursos geotérmicos en prospectos de interés. Las instituciones que trabajan en este tema son: CICESE, UNAM, UMSNH y UdeG.

### Los 9 proyectos específicos en este tema son:

[P03: Campaña Intensiva de Exploración Geotérmica de las Cuencas Wagner, Consag, Delfín, Guaymas y Alarcón del Sistema de Rifts del Golfo de California. PI: Antonio González, CICESE](#)

[P04: Monitoreo espacio-temporal de variables geofísicas en campos geotérmicos. PI: Marco Antonio Pérez, CICESE](#)

P05: Innovación en la aplicación de técnicas modernas de prospección geotérmica a partir de la integración de métodos geológicos, geoquímicos y geofísicos. PI: Gerardo Carrasco, UNAM

P08: Desarrollo, implementación y aplicación de metodologías analíticas de procesos de interacción agua/roca en reservorios geotérmicos de baja y alta entalpía: Aplicación en campos Mexicanos. PI: Eduardo González, UNAM



P09: Desarrollo y Aplicación de Nuevos Métodos Avanzados en Geoquímica de Fluidos y Alteración Hidrotermal para la Exploración de Sistemas Geotérmicos. PI: Edgar Santoyo, UNAM

P15: Exploración geotérmica de los complejos volcánicos de Cerritos Colorados, Acoculco y El Aguajito-La Reforma: Estudios de vulcanología, estratigrafía, geoquímica y petrología experimental. PI: José Luis Macías, UNAM

P17: Estudio de fracturamiento-fallamiento y campo de deformación actual, apoyados con sísmica y tomografía en los campos geotérmicos de Cuitzeo, Mich. y Cerritos Colorados, Jal. PI: Víctor Hugo Garduño, UMSNH

P23: Prueba de sonda para medición de flujo de calor somero en zonas geotérmicas. PI: Víctor Hugo Garduño, UMSNH

P24: Exploración sísmica pasiva y magnetoteléfica en los campos geotérmicos de Tulancingo-Acoculco y Volcán Ceboruco.. PI: Francisco Núñez, SisVoc UG

## Desarrollos tecnológicos para explotación



**Motivación:** Aunque la tecnología asociada a los ciclos termodinámicos y a la construcción de equipos para generación de energía eléctrica está muy avanzada, todavía hay cierto margen para innovaciones. En este rubro queremos promover una ingeniería geotérmica mexicana y motivar la creación de empresas de base tecnológica.

### Los 12 proyectos específicos en este tema son:

P06: Desarrollo de una herramienta computacional, basada en la mejor ecuación de estado disponible, para el cálculo de propiedades termodinámicas de mezclas de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> en un amplio intervalo de presión, temperatura y composición. PI: David Nieva, IIE

P11: Desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de la geotermia de baja entalpía. PI: Martín Salinas, UNAM

P14: Un simulador de transporte de vapor para optimizar el diseño de las redes de vapor-ductos y la generación de energía eléctrica en un campo geotérmico. PI: Mahendra Pal, IIE

P16: Integración de una planta de poli-generación mediante el uso en cascada de la energía geotérmica. PI: Carlos Rubio, UMSNH

P18: Monitoreo de la Integridad Estructural Tuberías Usadas en la Generación de Energía Mediante Tomografía de Ondas Guiadas. PI: Alberto Ruíz, UMSNH



P19: Desarrollo de Superaleaciones y Aleaciones Especiales base Titanio para Aplicaciones en Turbinas para la Generación de Energía Geotérmica. PI: Arnoldo Bedolla, UMSNH

P21: Generación geotérmica de potencia usando CO2 capturado en plantas de potencia de combustible fósil. PI: Alicia Aguilar, UMSNH

P25: Desarrollo sostenible y evaluación de impacto ambiental de 3 yacimientos geotérmicos con potencial de explotación en México. PI: Zayre González, CICESE

P29: Diseño y construcción de turbo-generador de baja entalpía con capacidad de 300KW para aprovechamiento del recurso geotérmico nacional. PI: Juan Felipe Soriano, UMSNH

P31: Evaluación de tecnologías para la maximización de la extracción de energía de yacimientos geotérmicos de mediana y baja entalpía. PI: Jesús Pacheco, UMSNH

P32: Diseño de una metodología integral para la perforación de sitios geotérmicos de mediana y baja entalpía, con transformación tecnológica y definición de parámetros de riesgo. PI: Hugo Gutiérrez, UMSNH

P33: Desarrollo de un modelo de evaluación de factibilidad técnico-financiera, normativa y legal de proyectos de exploración y desarrollo geotérmico de alta, mediana y baja entalpía. PI: Sergio Galván, UMSNH

## Usos Directos del calor geotérmico



**Motivación:** Las tecnologías para el acondicionamiento térmico de espacios con calor de fuentes geotérmicas y las aplicaciones industriales directas del calor geotérmico se han utilizado durante décadas en otros países. Sin embargo, estas tecnologías probadas son básicamente desconocidas por los empresarios mexicanos y por el público en general. Es necesario dar a conocer la tecnología mediante la realización de estudios técnicos y económicos y mediante el desarrollo de proyectos demostrativos que muestren la viabilidad de este tipo de aplicaciones.

### Los 5 proyectos específicos en este tema son:

P10: Análisis de factibilidad y desarrollo de un prototipo de proyecto demostrativo del uso energía geotérmica para climatización de invernaderos. PI: Abelardo Mercado, UPBC

P13: Análisis de factibilidad, comparación de tecnologías, estudio de mercado y desarrollo de un proyecto demostrativo de Bombas de Calor Geotérmicas para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales en Mexicali, Baja California y Cuernavaca, Morelos, México. PI: Alfonso García, IIE

P22: Diseño de sistema modular para el acondicionamiento de espacios habitacionales mediante el aprovechamiento de la energía geotérmica . PI: Héctor González Licón, UMSNH

P27: Diseño, desarrollo y caracterización a detalle, de un sistema de deshidratación de alimentos con la calidad requerida por la industria alimentaria, con calor residual de campos geotérmicos. PI: Julio Vargas, UMSNH

P30: Desarrollo de un sistema para la generación de clima controlado a partir de intercambio de calor con el subsuelo y el aprovechamiento de la inercia térmica de la corteza terrestre, con aplicaciones en complejos industriales, comerciales, públicos y domésticos. PI: Crisanto Mendoza, UMSNH

# Formación de Recursos Humanos



Promover la formación de especialistas en geotermia a todos niveles: técnico, profesional y posgrado; utilizando las capacidades y la oferta educativa de las instituciones académicas del consorcio.

## Geociencias

CICESE  
Posgrado en  
Ciencias de la  
Tierra

UNAM  
Posgrado en  
Ciencias de la  
Tierra

INICIT-UMSNH  
Posgrado en  
Geociencias

ENES-UNAM  
Lic. en  
Geociencias

U de G  
Posgrado en  
Geofísica

## Energía

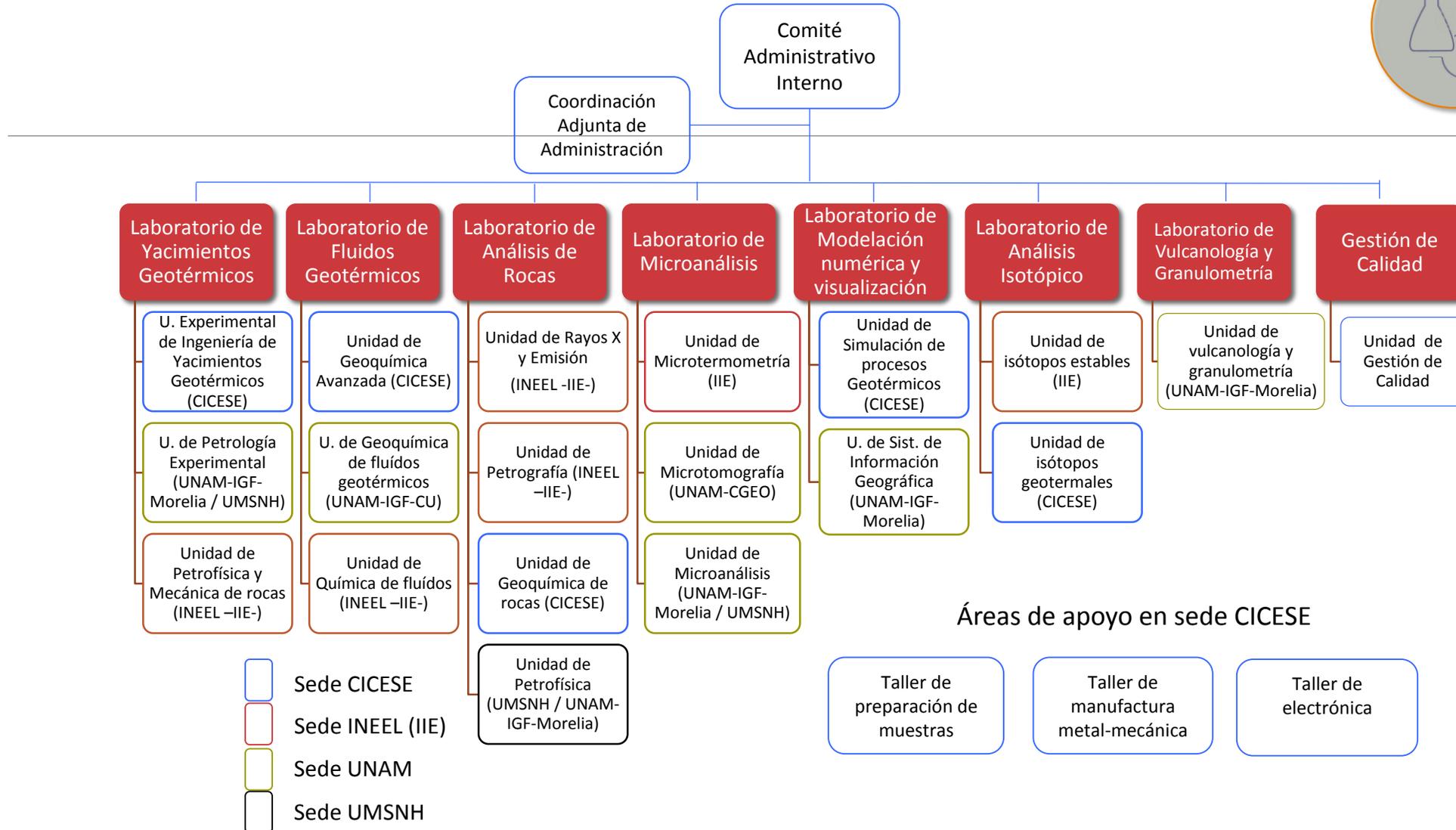
IER-UNAM  
Licenciatura y  
Posgrado en  
Energía

II-UNAM  
Posgrado en  
Energías  
Renovables

INEEL (IIE)  
Posgrado en  
Energía

UPBC  
Ingeniería en  
Energía

# Sistema de Laboratorios Especializados



# CONCLUSIONES

- México sigue siendo un país que depende de los hidrocarburos como fuente de energía primaria.
- La nueva reforma energética enmarca la necesidad de desarrollar estrategias, conocimiento y tecnología para impulsar de manera sustentable las energías limpias o renovables en México.
- Más de la mitad de los 120 GW proyectados de capacidad de generación de energía instalada para el 2040 debe provenir de fuentes renovables.
- Esto reduce a la mitad las emisiones de CO<sub>2</sub>, de poco más de 450 g CO<sub>2</sub>/kWh en 2014 a 220 g CO<sub>2</sub>/kWh para el 2040.
- Aunado a esto, se debe lograr una participación del 35% en la generación de energía limpia para 2024, de la cual la geotermia debe alcanzar una participación del 5% (actualmente representa el ~2%).
- Por lo tanto, la geotermia tiene y tendrá un rol importante en México tanto para generación de energía eléctrica, para usos directos y con un compromiso serio ante el cambio climático en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.



**RENAG**  
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

**Manizales  
2017**



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA

# GRACIAS

**Efraín Gómez Arias, CICESE**

**([gomezar@cicese.mx](mailto:gomezar@cicese.mx); [egomezar@conacyt.mx](mailto:egomezar@conacyt.mx))**

**Celular: +52 (777) 2577628**

**Teléfono: +52 (646) 175 0500 ext. 26085**

*5 de diciembre de 2017*



FONDO  
DE SUSTENTABILIDAD  
ENERGÉTICA

**SENER**  
SECRETARÍA DE ENERGÍA



**CeMIEGeo**  
Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica