

La geotermia de baja entalpía: potencial y retos

Dra. Mariene Gutiérrez Neri
Tlalli Energía

Encuentro Regional de Geotermia

21- 23 Octubre 2019, Ciudad Universitaria, UNAH-CD
Tegucigalpa, Honduras

Sobre Tlalli Energía



Contenido

- Clasificación de recursos
- Aplicaciones y tecnologías
- Viabilidad de los proyectos geotérmicos
- Retos

Clasificación de los recursos

Por su temperatura, por ubicación, por presencia (o no) de fluidos

Por entalpía (°C)					Por ubicación	Por presencia de fluidos	
	(a)	(b)	(c)	(d)			
Alta	>150	>225	>220	>150	<ul style="list-style-type: none"> • Continentales • Submarinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrotermales 	Vapor dominante
Media	90-15	125-225	100-200	---		<ul style="list-style-type: none"> • Roca seca caliente 	Líquido dominante
Baja	<90	<125	<100	≤150			

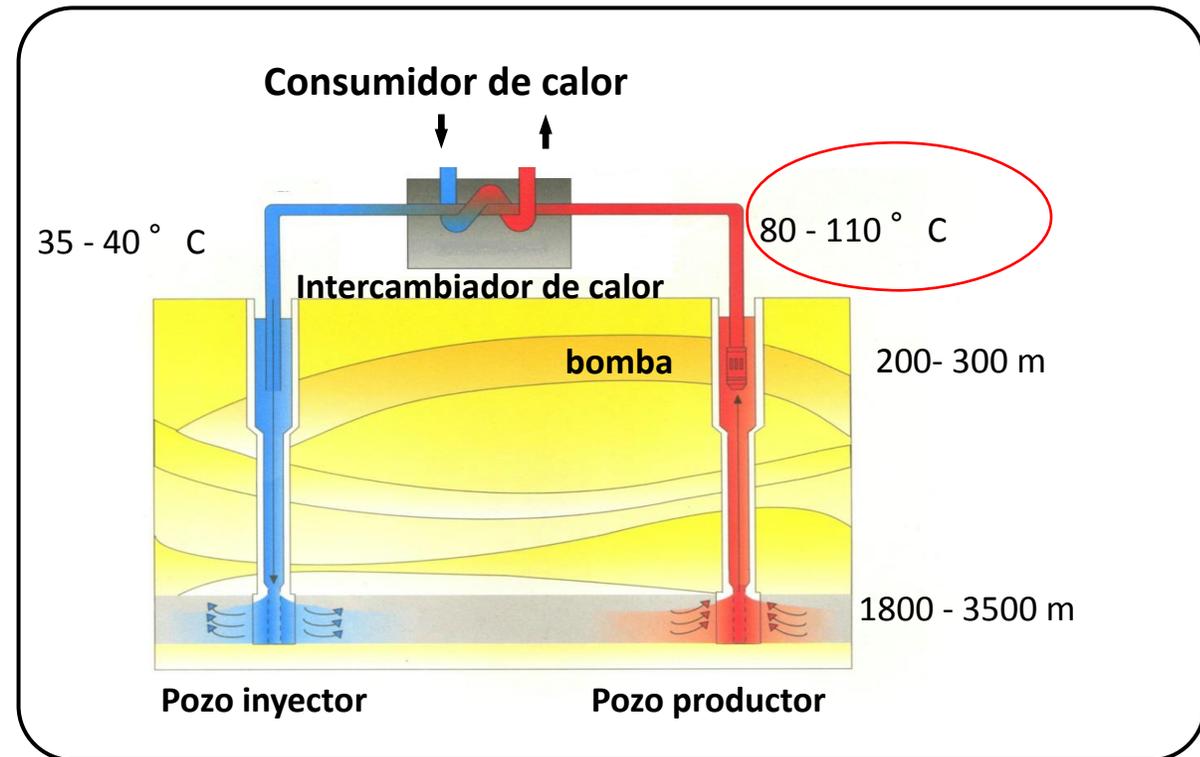
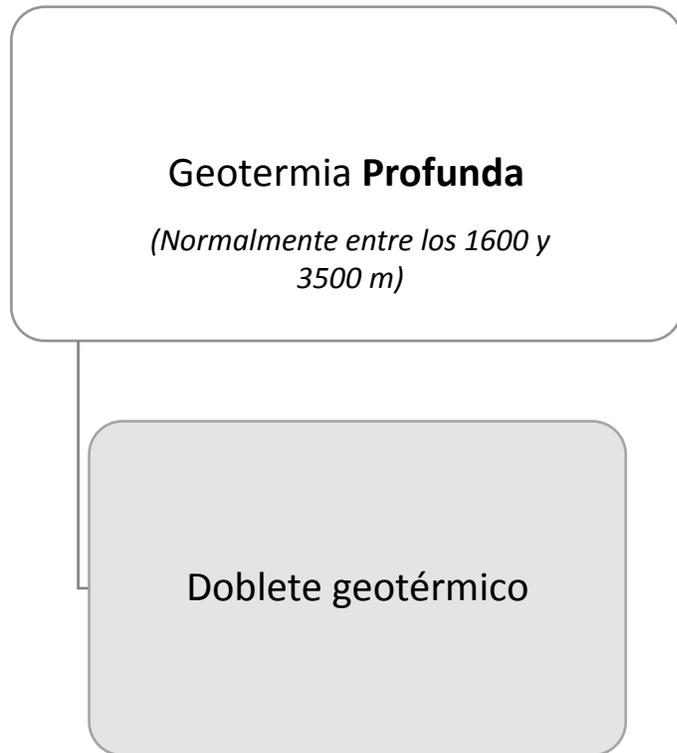
- (a) Muffler & Cataldi, 1978;
- (b) Hochstein, 1990;
- (c) Benderitter & Cormy, 1990;
- (d) Haenel et al., 1988.

- Media y alta entalpía propicias para generación de electricidad
- Baja entalpía adecuada para el aprovechamiento directo de la energía térmica

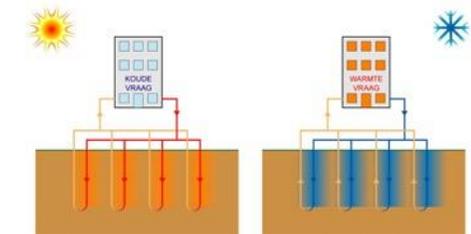
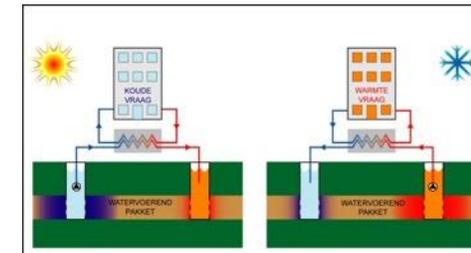
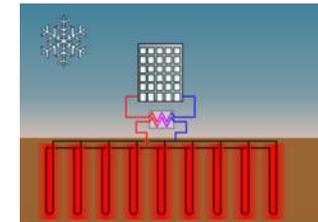
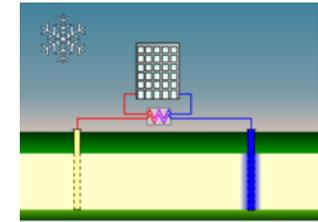
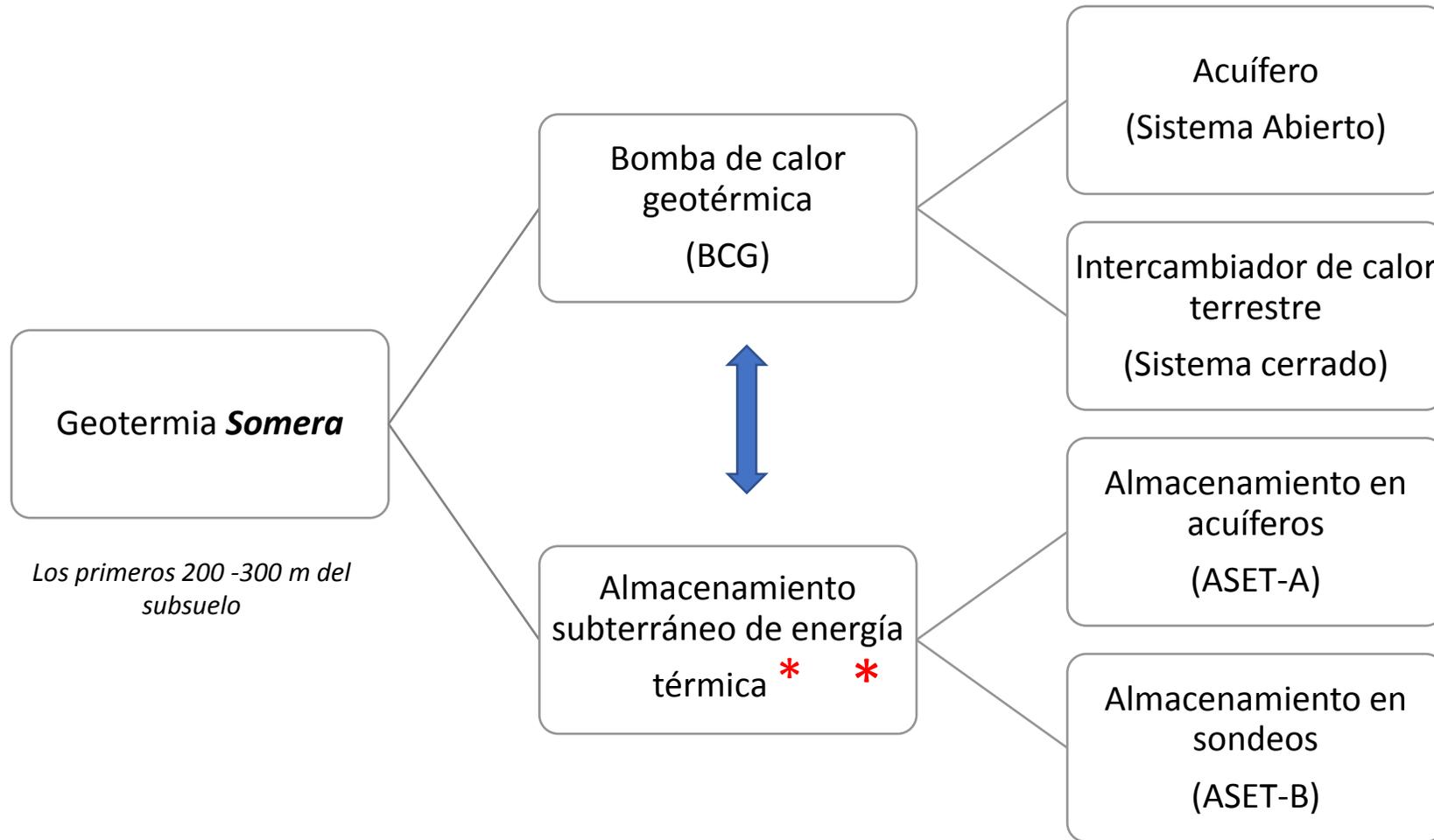
¿Por profundidad?

Geotermia somera y profunda

Relacionada al marco regulatorio (Ej: Países Bajos)

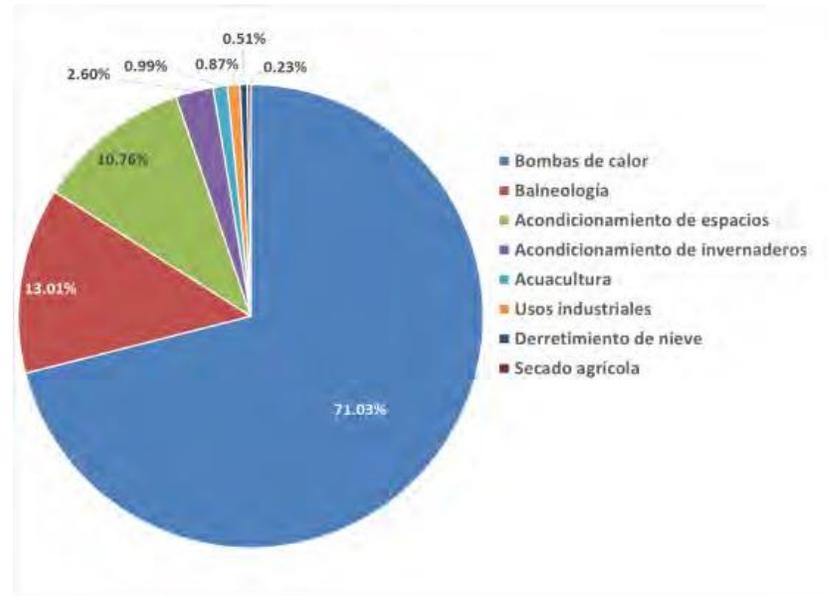


Geotermia somera y profunda

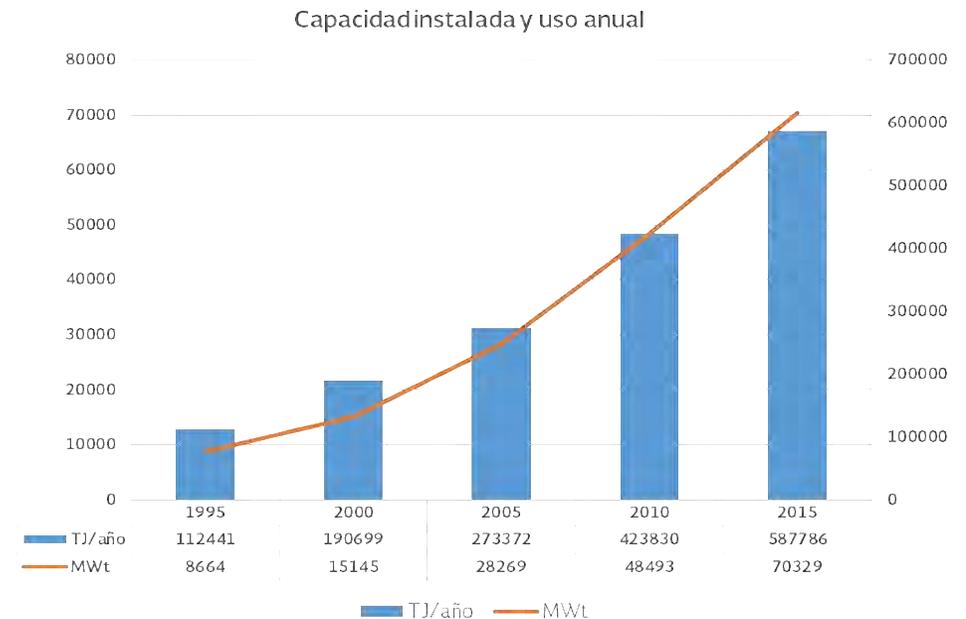


Geotermia de baja entalpía – aplicaciones de uso directo

- Bombas de calor geotérmico (BCG)
- Spas, balneología, albercas
- Climatización de espacios
- Agricultura y agroindustria
- Invernaderos
- Usos industriales
- Usos en cascada (usos combinados)



- La IGA (Asociación Geotérmica Internacional) realiza cada 5 años un inventario para estimar la capacidad instalada y utilización mundial de las aplicaciones.
- Al 2015 la capacidad instalada se estimaba en 70,400 MWt
- Un incremento del casi el 50% del 2010.



Fuente: Basado en (Lund & Boyd, 2015)

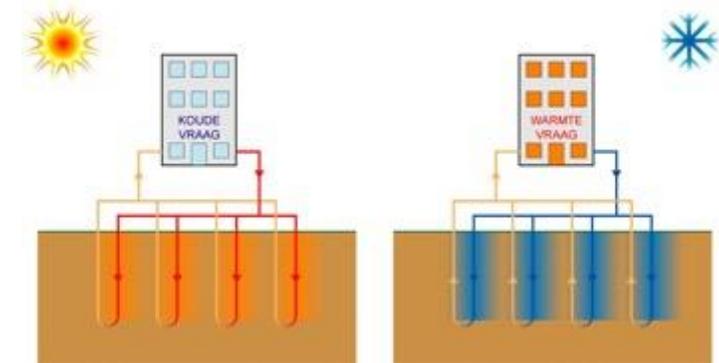
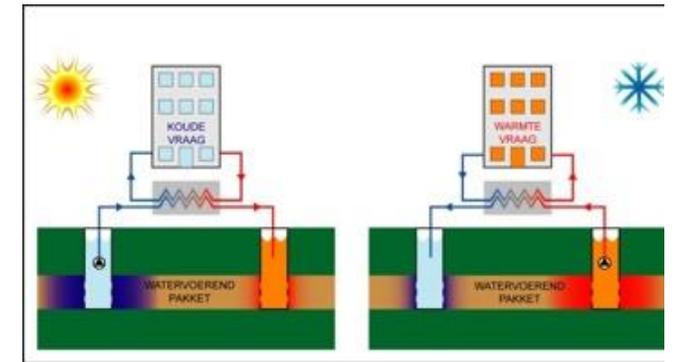
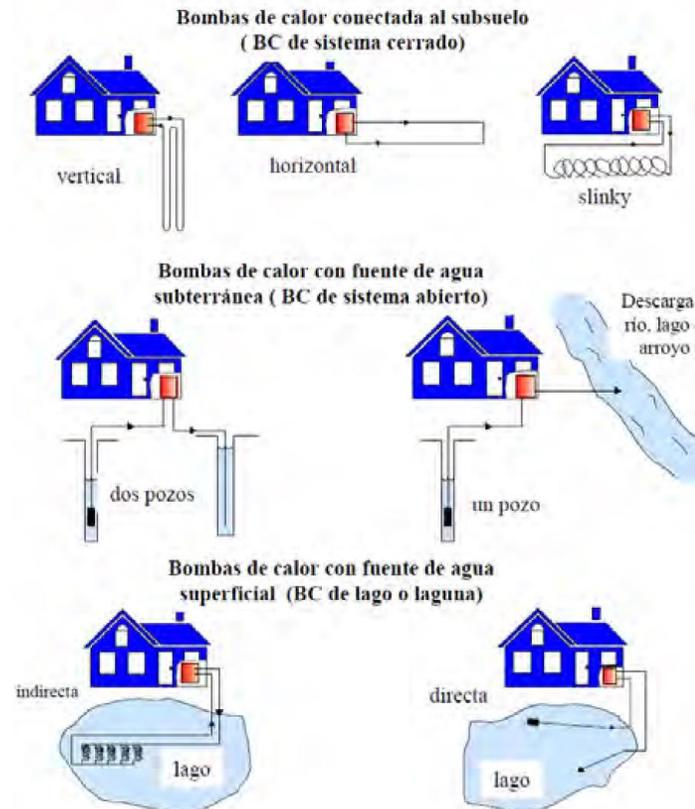
Geotermia de Baja Entalpía - Opciones tecnológicas:

**Bombas de Calor Geotérmico y Almacenamiento de
Energía Térmica**

Geotermia de baja entalpía – opciones tecnológicas

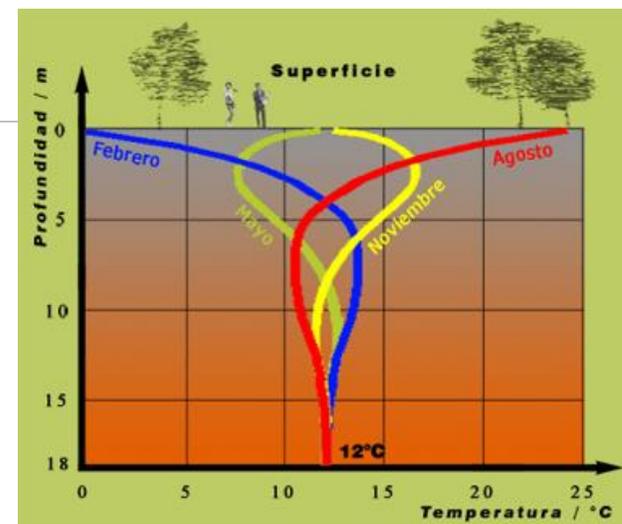
Usos directos:

- Spas, balneología, albercas
- Climatización de espacios
- Agricultura y agroindustria
- Invernaderos
- Usos industriales
- Usos en cascada



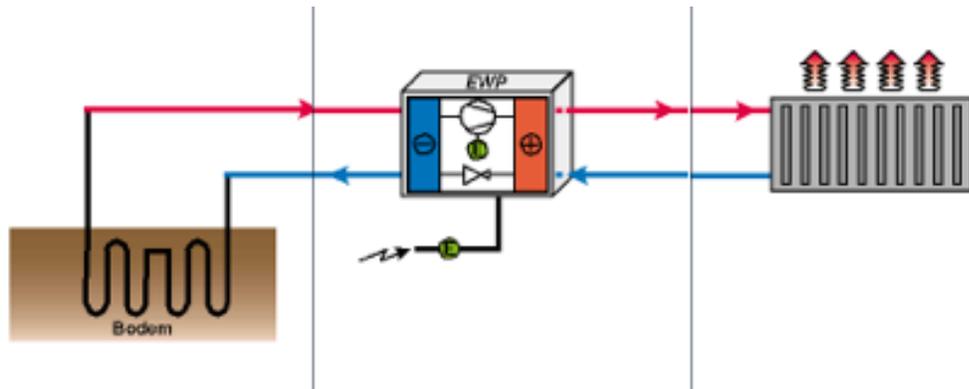
Bomba de calor geotérmica (BCG)

- Un sistema de bombas de calor que utiliza el calor del subsuelo como fuente térmica se denomina sistema de bomba de calor geotérmica (sistema BCG).
- Un sistema BCG puede de este modo ser utilizado para proporcionar **calefacción**, **refrigeración** o una **combinación** de calefacción y refrigeración.
- Con excepción de los primeros metros cerca de la superficie, el subsuelo tiene una temperatura casi constante a lo largo del año y también una gran capacidad calorífica.
- El principio de funcionamiento en modo **calefacción** requiere de una fuente de calor cuyo calor pueda ser extraído a baja temperatura; este calor de baja temperatura es a continuación convertido por la bomba de calor en calor de alta temperatura.
- El subsuelo también puede ser usado como vertedero de calor para disipar calor. Esta situación se produce cuando la bomba de calor se utiliza para **refrigerar**. En este caso la bomba de calor extrae el calor de baja temperatura del edificio (por ejemplo) con el fin de enfriarlo, entonces este calor se descarga en el subsuelo.

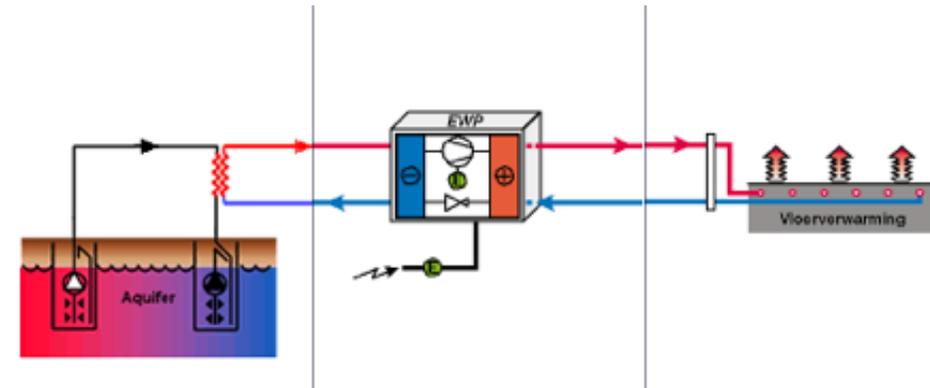


Bomba de calor geotérmica (BCG)

- Un sistema BCG permite una **reducción del consumo de combustibles fósiles en la climatización**.
- Utilizado en **calefacción**, un sistema BCG ahorra entre el 20 y el 40% del consumo de combustibles usado para la generación de calor
- Usado como **refrigeración**, entre un 15 y un 30% en el consumo de electricidad para generación de frío.



- *La gran mayoría de estos sistemas están destinados a suministrar calefacción o calefacción y refrigeración a viviendas unifamiliares.*
- *La capacidad de los sistemas BCG en estas aplicaciones se sitúa en el rango de 5 a 15kW.*



- Estos son proyectos colectivos para casas, edificios de apartamentos y oficinas.
- El subsuelo debe ser adecuado para la extracción e inyección de agua subterránea.
- Un pozo para la extracción de agua subterránea provee generalmente 50 kW o más de calor de baja temperatura

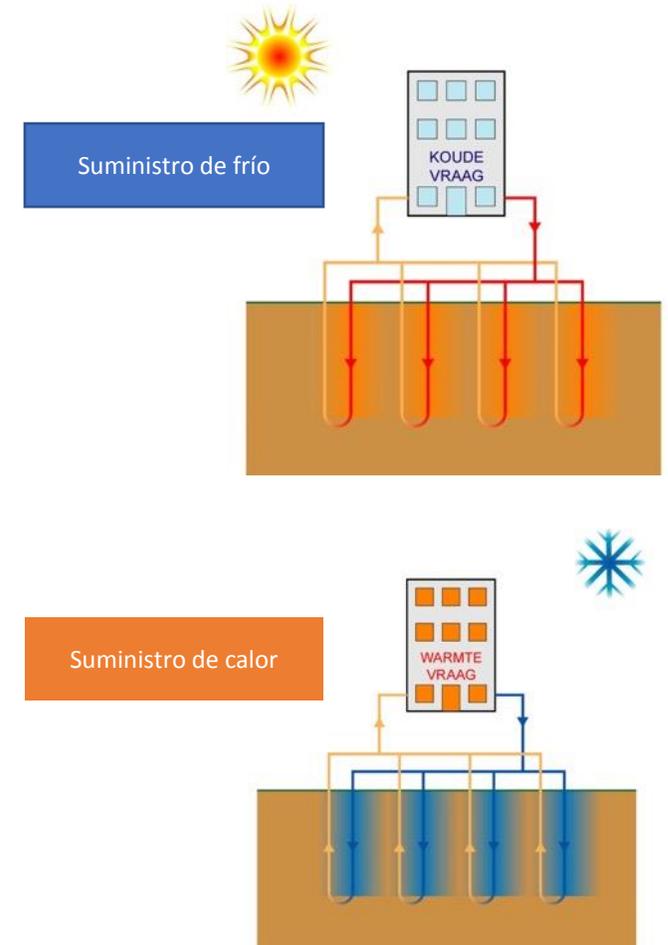
Almacenamiento subterráneo de energía térmica (ASET)

- El subsuelo puede ser utilizado para **almacenar temporalmente frío ó calor**. El subsuelo posee una alta capacidad calorífica y también unas buenas propiedades de aislamiento térmico.
- Los sistemas de Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en Acuíferos (**ASET-A**) hacen uso de una capa **acuífera** del subsuelo para almacenar frío o calor.
- En el caso de Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en Sondeos (**ASET-B**), el calor y/o el frío se almacena en el subsuelo utilizando un Intercambiador de Calor Terrestre.
- Los sistemas **ASET** pueden usarse en **combinación** con las **BCG**, dependiendo de las condiciones climáticas externas y del subsuelo



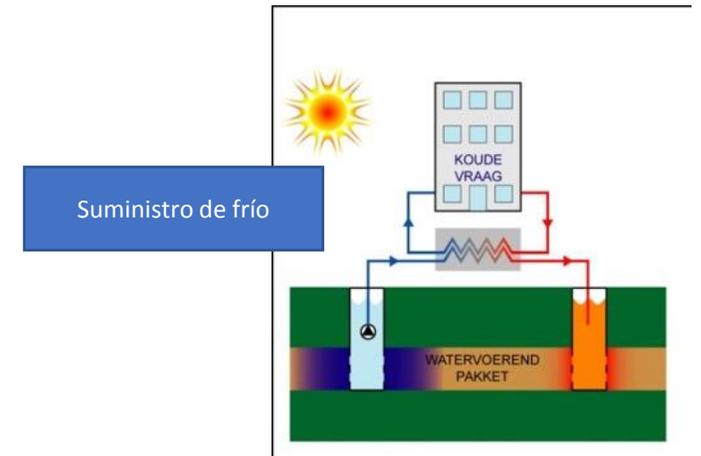
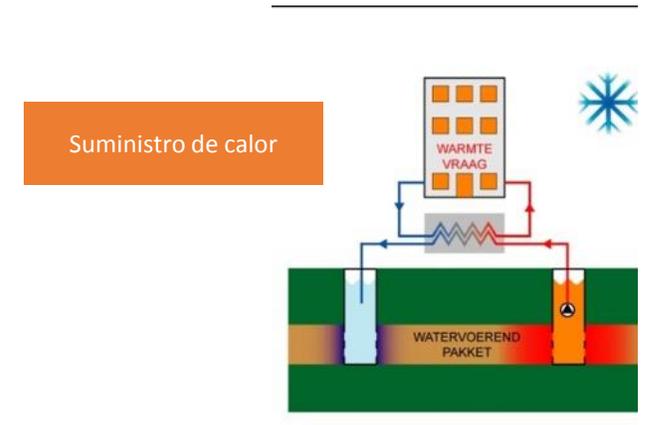
Almacenamiento subterráneo de energía térmica en sondeos (ASET-B)

- El calor y/o el frío se almacena en el subsuelo utilizando un Intercambiador de Calor Terrestre (ICT), que normalmente consiste en una serie de tubos de polietileno en forma de “U” (sondas geotérmicas) que se instalan en el interior de los sondeos o perforaciones. La distancia entre los sondeos es de 2 a 3 metros.
- En el caso de almacenamiento de calor (modo enfriamiento), el fluido portador circula a través de las sondas geotérmicas desde el centro hacia el borde del almacenamiento. En este sentido el calor se transfiere por conducción de calor al terreno circundante.
- Durante el almacenamiento de frío (modo calefacción) del flujo se invierte, el fluido circula a través de las sondas desde el borde hacia el centro del almacenamiento. De esta manera el calor es transferido de nuevo del terreno circundante al fluido.
- Las capas naturales del subsuelo poseen diferentes propiedades térmicas, como la conductividad térmica y la capacidad calorífica. Estas propiedades térmicas son importantes para el dimensionamiento del campo de sondeos (ICT) y se necesitan medir por medio de un ensayo de respuesta térmica (TRT) previo a la fase de diseño.
- Estas características térmicas determinan la magnitud del ASET-B, como son el número y profundidad de las sondas geotérmicas, y de este modo la viabilidad económica del sistema de almacenamiento. En cualquier caso no afectan a la viabilidad técnica.
-



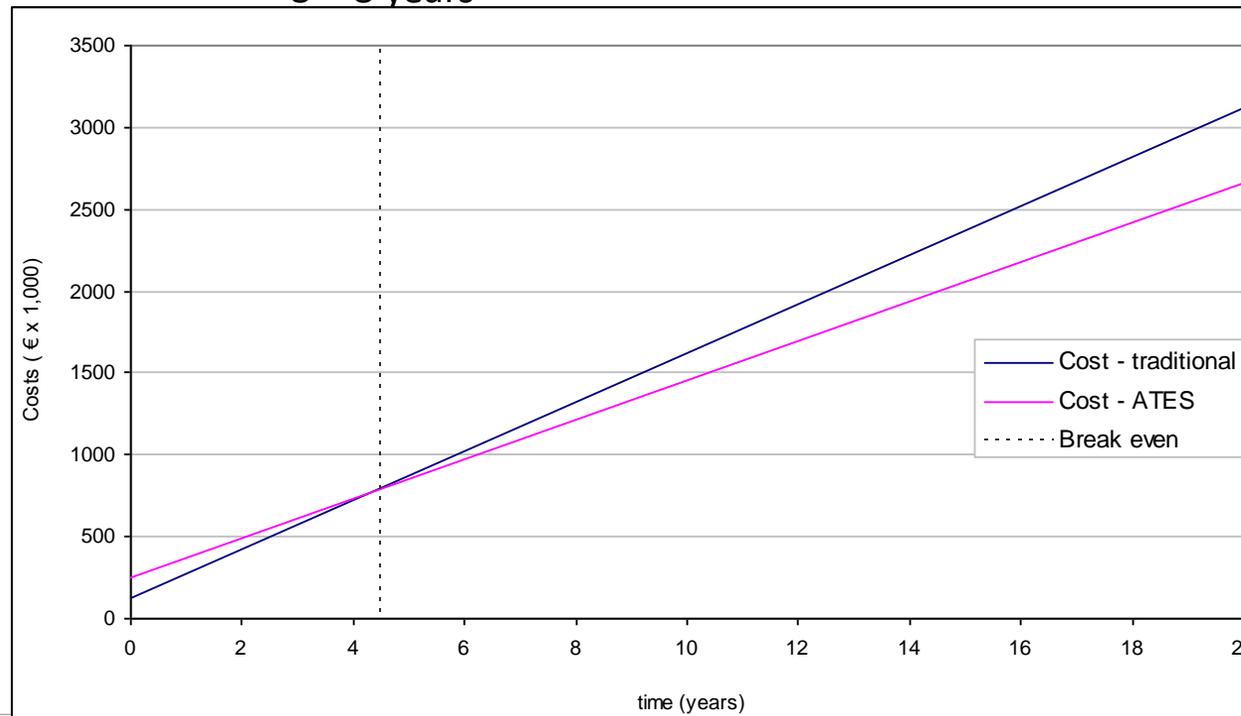
Almacenamiento subterráneo de energía térmica en acuíferos (ASET-B)

- Para calefacción, el agua subterránea es bombeada desde uno o más pozos calientes, a continuación el calor almacenado en el agua subterránea es usado para fines de calefacción, después de esto el agua enfriada se retorna al acuífero mediante los pozos fríos.
- Para refrigeración el proceso se invierte. El agua subterránea fría se bombea desde los pozos fríos y es usada para refrigerar, después de esto el agua calentada se inyecta de nuevo en los pozos calientes.
- Parte de los sistemas de suministro de energía con **ASET-A no tiene bomba de calor**. De esta manera se pueden considerar los sistemas ASET-A como un avance de los sistemas de bomba de calor geotérmica.
- Los sistemas ASET-A permiten el almacenamiento de frío y calor de baja temperatura con una eficiencia del 70 al 90%.
- Para alcanzar las mencionadas eficiencias se deben cumplir dos condiciones: el acuífero debe ser adecuado para el almacenamiento de energía y el proyecto debe ser de una escala suficiente.



Costos sistemas ASET

	Investment	Annual (exploitation)
Traditional system	€ 120,000	€ 255,000
ATES	€ 150,000	€ 120,000
Break even	3 – 8 years	



Sistemas híbridos: ASET + BCG

- Situaciones en las que la temperatura del subsuelo es demasiado alta para proporcionar **refrigeración directa** se aplican las bombas de calor para suministrar refrigeración (adicional).
- Desde este momento el sistema funciona como un sistema BCG.

Metro Pacífico, Madrid

Geotermia somera - Sistema BCG
En colaboración con Termoterra

- Sistema BCG (bomba de calor geotérmica)
- Número de sondeos geotérmicos: 32
- Profundidad de los sondeos geotérmicos: 145 m
- Potencia de frío del sistema BCG: 120 kW
- En funcionamiento desde 2009.



Introducción de la perforadora



Colector en sala técnica

Hospital Mollet del Vallès

Geotermia somera - Sistema ASET-B con bomba de calor (BC)
En colaboración con Termoterra

- Número de sondeos geotérmicos: 144
- Profundidad de los sondeos geotérmicos: 145 m
- Potencia de frío del sistema ASET-B/BC: 1000 kW
- Potencia de calor del sistema ASET-B/BC: 1200 kW

Aplicación del HPS, una unidad prefabricada y estandarizada para bombas de calor geotermicas y sistemas geotermicos de media a gran escala.



Hospital Mollet del Vallès



Descarga del HPS (Heat Pump Skid)



Bomba de calor y instalación geotérmica

Sistemas ASET- A

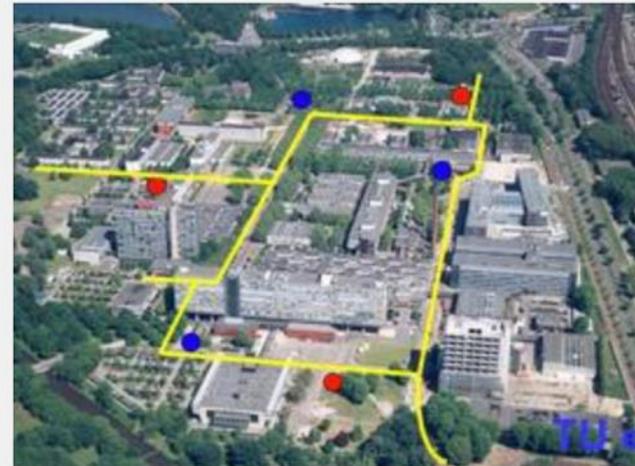
Países Bajos: mas de 1700 sistemas ASET-A (2018)



Universidad Eindhoven (Países Bajos)

Geotermia somera - Sistema ASET-A

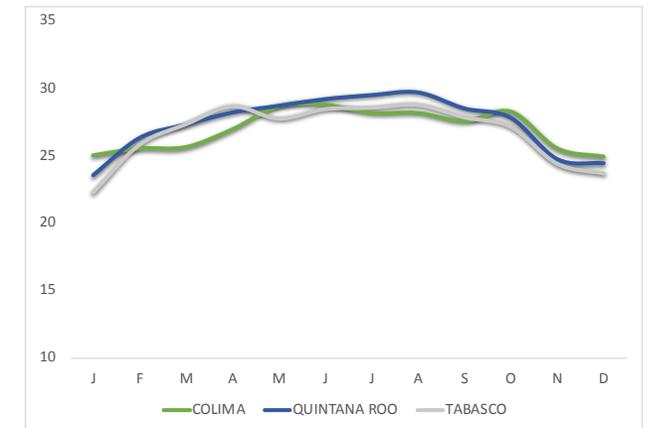
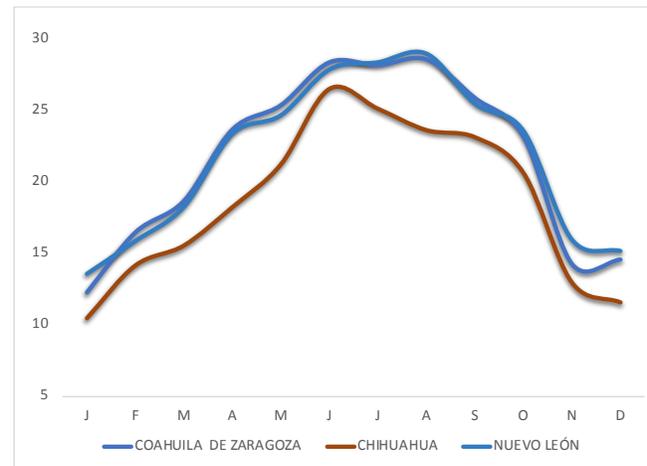
- Potencia de refrigeración: 20 MW
- Aporte anual de frío: >15 GWh/a
- Caudal máximo: 2.250 m³/h
- Numero de pozos: 2 x 18



Situación de los pozos fríos y los pozos calientes

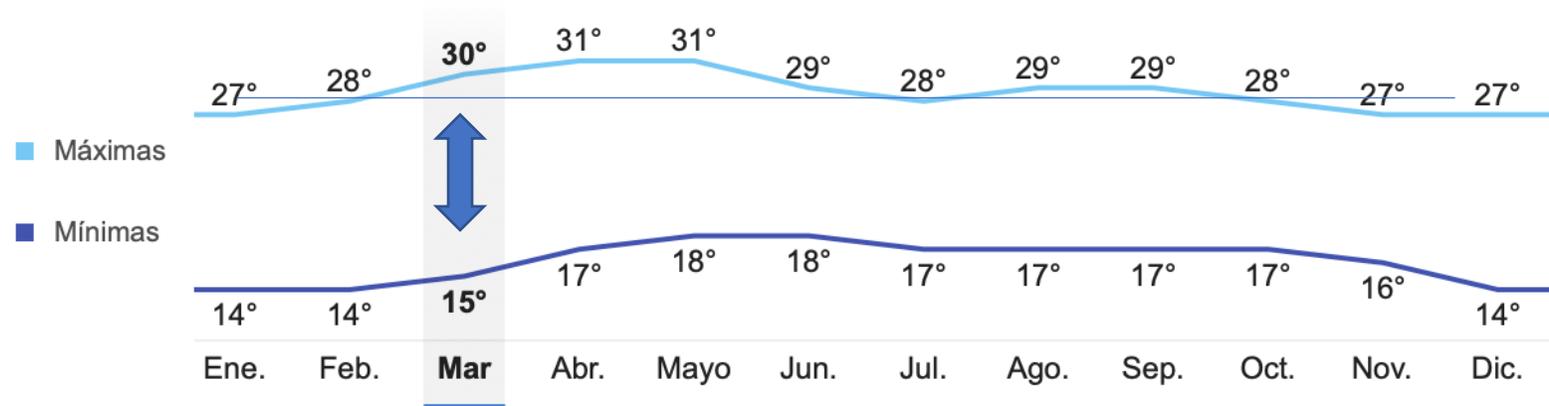
Otras consideraciones de factibilidad

- Los sistemas ASET para aplicaciones de calefacción y refrigeración se evalúan desde el punto de vista del clima, tipo de acuíferos presentes, y temperatura del agua subterránea.
- Los climas más favorables para ASET tienen un estaciones de frío y calor **distintivas**.
- Una mayor permeabilidad del acuífero es más favorable al igual que las aguas subterráneas más frías.



Clima en Tegucigalpa

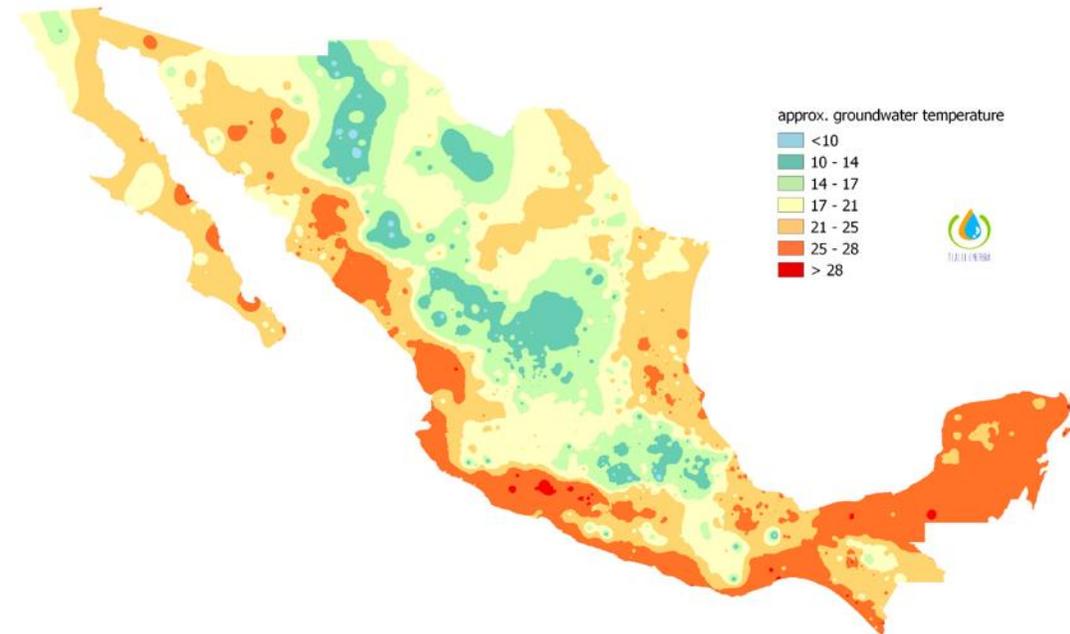
Temperaturas (°C)



- Poca estacionalidad
- Pero diferencial de temperaturas diario/semanal
- ¿Qué esquema aplicar?

Consideraciones de factibilidad

- Una mayor permeabilidad del acuífero es más favorable
- All igual que las aguas subterráneas más frías.



Consideraciones para factibilidad de proyectos

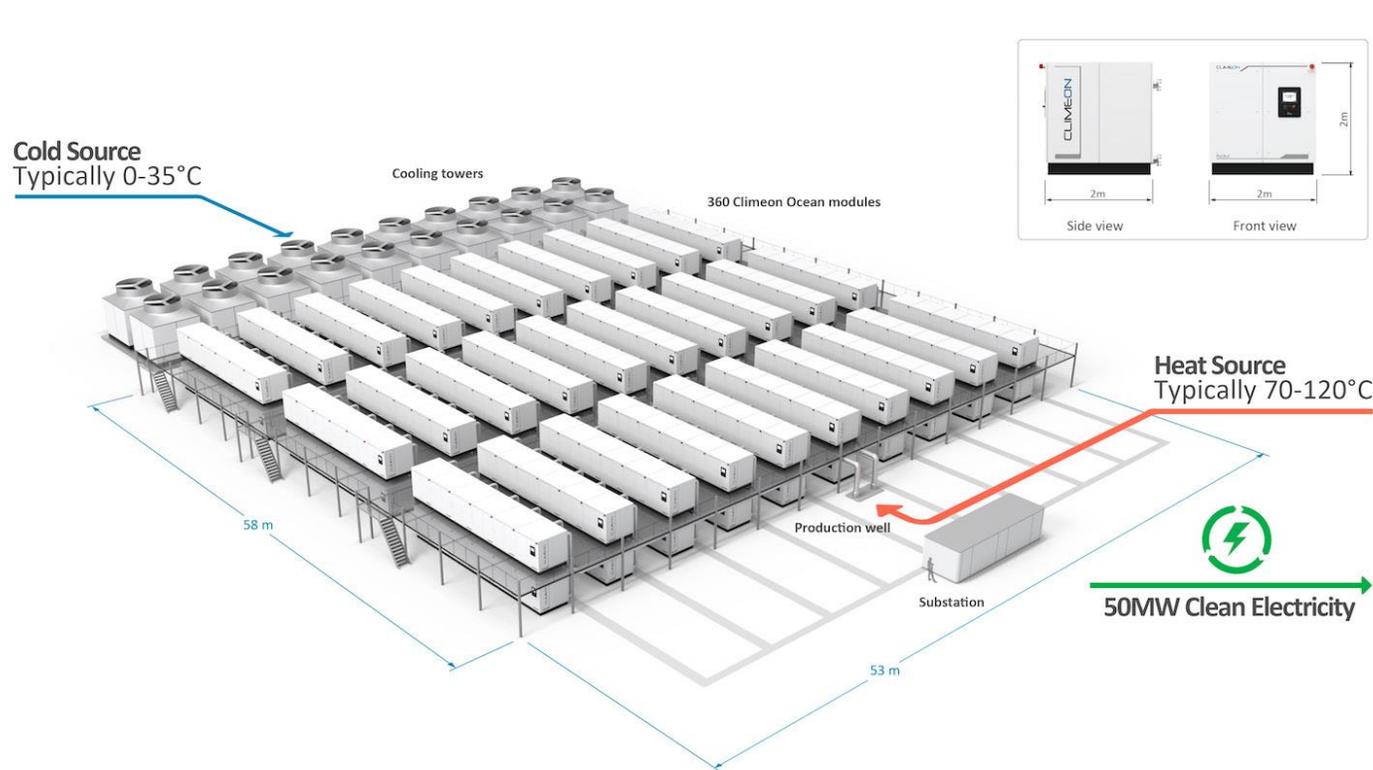
- Concepto energético del proyecto
 - Curva de demanda refrigeración/calefacción
 - Dimensionamiento del sistema
- Tipo de sistema geotérmico
 - Abierto/Cerrado
 - Híbrido (ASET + BCG)
- Viabilidad técnica
 - Hidrogeología local
 - Calidad/temperatura del agua subterránea
 - Selección de acuíferos `aptos`
- Marco normativo
 - Necesidad de Estudio de Impacto (hidráulico, térmico)
 - Permisos/autorizaciones necesarias
 - Ordenamiento territorial
 - Otros

Factibilidad general ASET-A/B



Geotermia de Baja Entalpía - Opciones tecnológicas: Generación de Electricidad

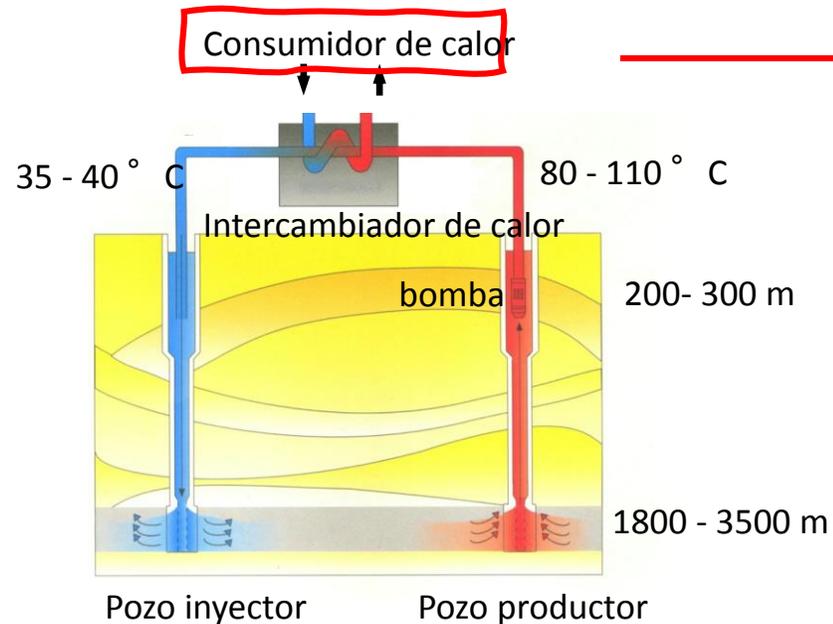
Geotermia de baja entalpía – generación de electricidad



n de electricidad
Módulos tecnológicos en base al ORC
Temperaturas entre 90 - 120°C



Geotermia de baja entalpía – generación de electricidad



- Desarrollos tecnológicos en base al ORC
- Temperaturas entre 90 - 120°C
- Baja escala, modulares
- Escalables
- Impactar (positivamente) el modelo de negocio

DATOS MODULO CLIMEON

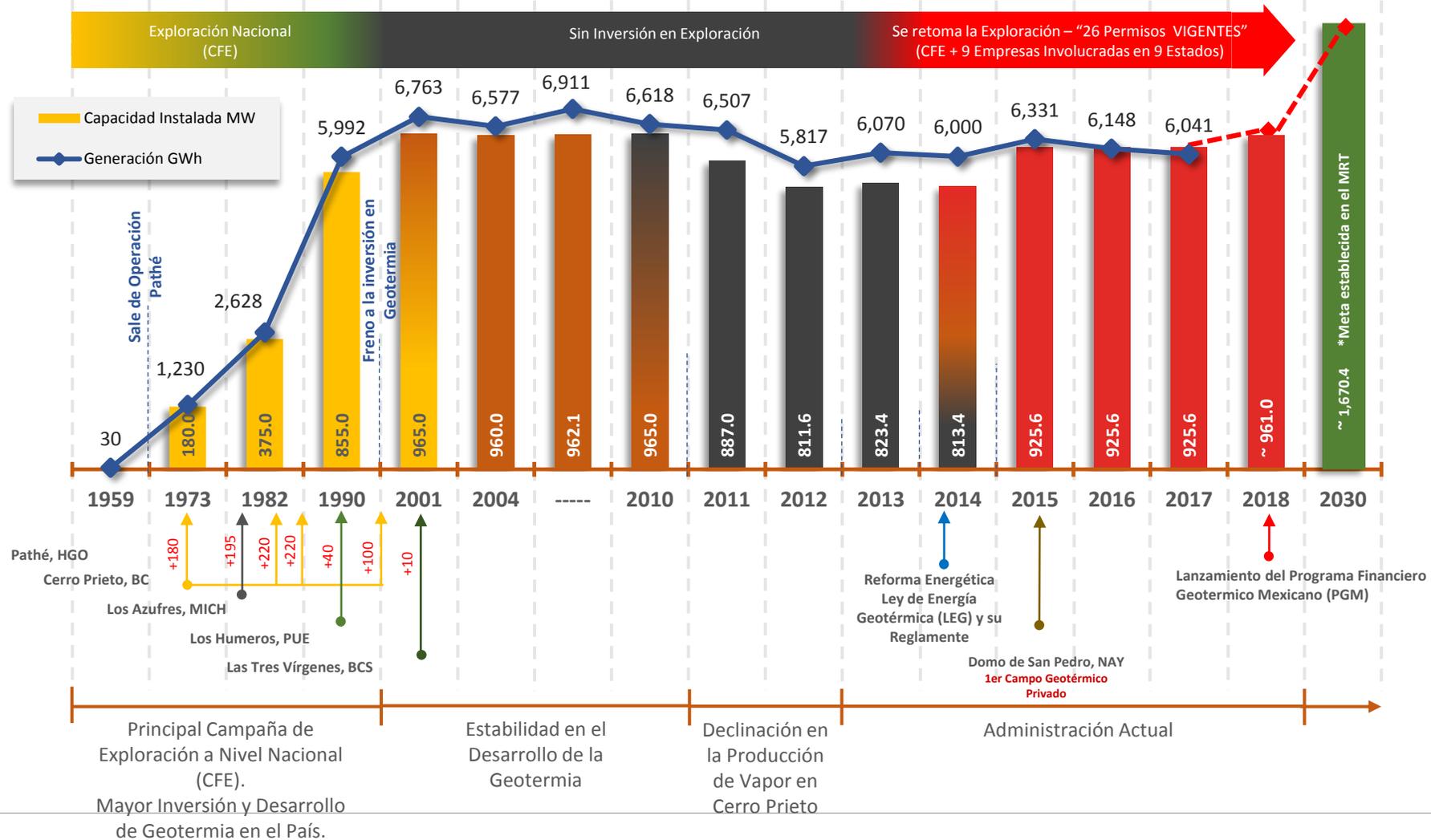
- CAPEX: 350,000 € (EXW Sweden)
- OPEX: 7,000 €/year (including basic support and software licenses)
- The module requires approx.100 m³/h water
- At 110 C hot water, 35 C cooling water = **150 kWe**

Geotermia de Baja Entalpía

Retos y acciones habilitadoras

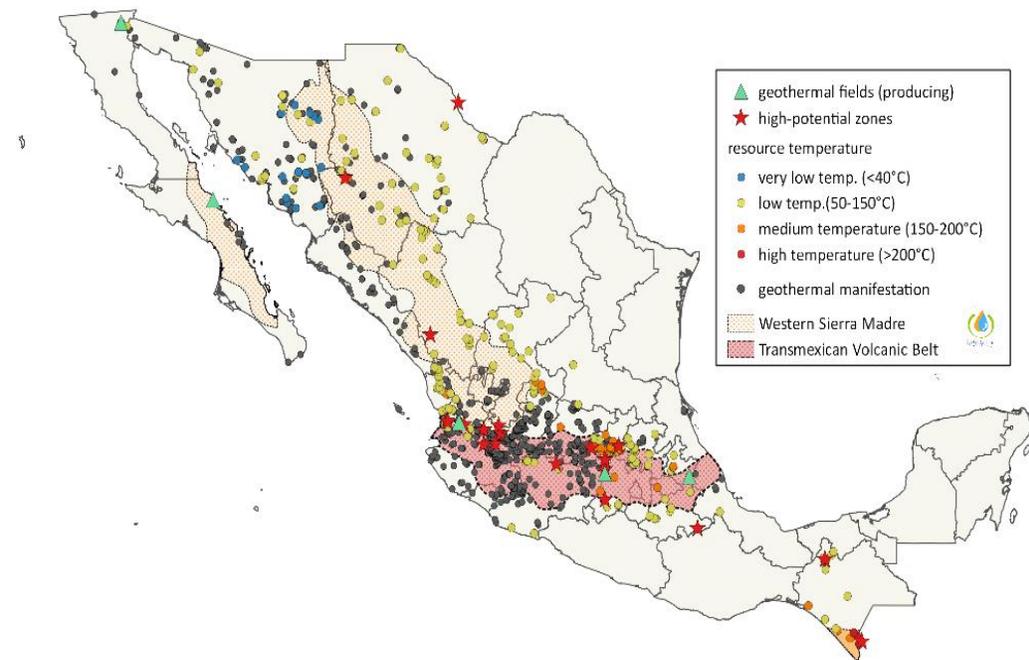
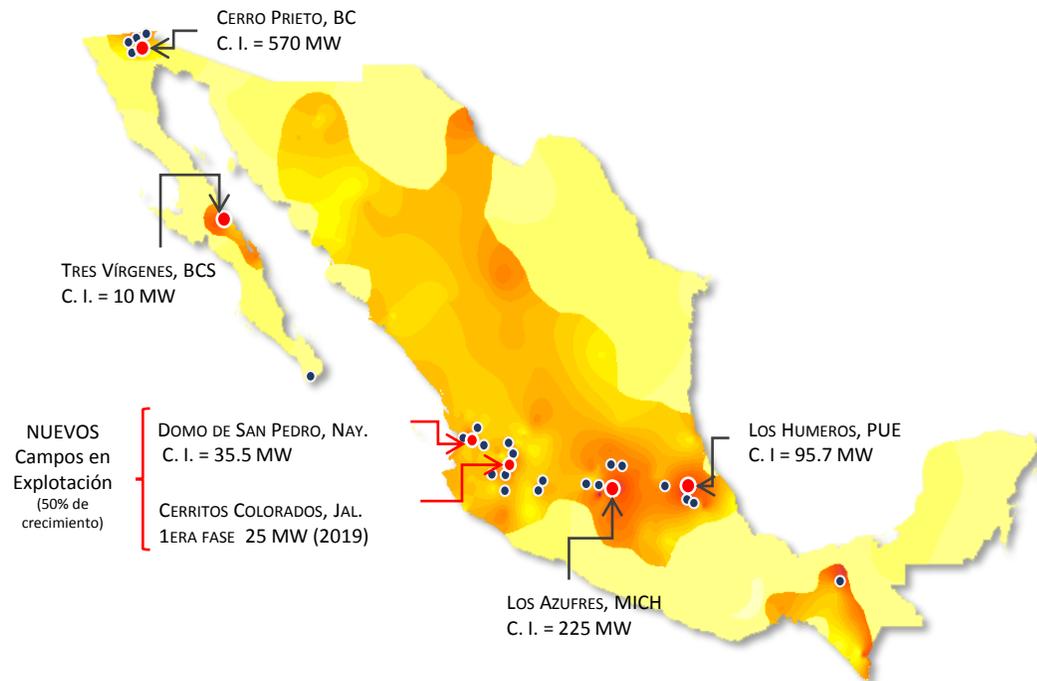
Ejemplos de México

Evolución de la industria geotérmica en México



Potencial geotérmico

- 6 plantas geotérmicas
- Mas de 2300 manifestaciones geotérmicas categorizadas, en 27 estados



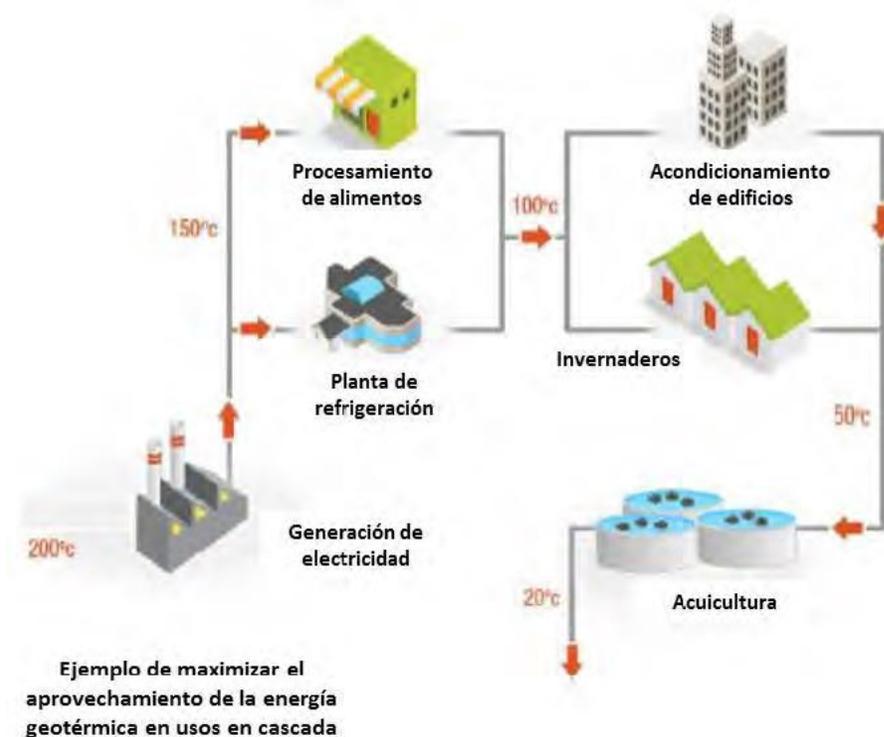
El Potencial Geotérmico \neq Potencial de Proyectos Geotérmicos

En total se identificaron veintiún proyectos, de los cuales:

- Siete (7) pertenecen a usos en cascada,
- ocho (8) están orientados a diversas aplicaciones
- seis (6) corresponden a bombas de calor geotérmico;

Asimismo:

- Ocho (8) son de tipo comercial
- trece (13) son de demostración.



*Ejemplo de un sistema en cascada
(proveniente de la generación de electricidad)*

Marco regulatorio actual

El aprovechamiento de los recursos geotérmicos en México está normado fundamentalmente por las siguientes Leyes y Reglamentos:

- Ley de Transición Energética (LTE, 2015);
- Ley de Energía Geotérmica (LEG, 2014a)**;
- Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica (RLEG, 2014b);
- Ley de Aguas Nacionales (LAN, 2016)** y
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN, 2014c).

Reconocimiento –
Aviso 8 meses
no otorga
derechos

Exploración –
Permiso 3 años
otorga
derechos

Explotación –
Concesión 30
años otorga
derechos

Actividades que regula la LEG:

- Agua geotérmica: >80°C**
- Enfocado principalmente a la generación de electricidad
- Si durante los trabajos de exploración geotérmica se detectan posibles interferencias entre el yacimiento geotérmico y acuíferos adyacentes, se deberá contar con un dictamen de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y sobre la pertinencia de continuar o no con los trabajos de exploración (SENER).
- El Reglamento de la LEG define como **usos directos o diversos** a aquellos usos en los que se puede aprovechar la energía geotérmica diferentes a la generación de energía eléctrica.
- En general la LEG no especifica bien si todos los proyectos de usos directos deben cumplir con todos los procedimientos y requisitos establecidos para generación de electricidad
- Actualmente la SENER esta preparando los lineamientos que establecen el régimen de regulación para el aprovechamiento de la energía geotérmica para Usos Diversos y tienen por objeto promover e incentivar el desarrollo de estos proyectos
- La LEG actualmente en proceso de Mejora Regulatoria

Marco regulatorio actual

Actividades que regula la LAN:

- Establece que las aguas del subsuelo contenida en yacimientos geotérmicos hidrotermales requieren de concesión por parte de CONAGUA
- Si se demuestra que no existe interferencia con acuíferos adyacentes, la concesión no estará sujeta a la disponibilidad de agua en dichos acuíferos, vedas, reservas, etc. que apliquen.
- Para el caso de aguas diferentes al agua geotérmica (<80°C) no aplica dicha excepción y esta en lo dispuesto en la LAN
- Actualmente la CONAGUA esta elaborando los 'Lineamientos de Geotermia en Materia de Aguas Nacionales' que establecen las disposiciones de carácter general y los requisitos en materia de protección y conservación de las aguas nacionales, que deberán cumplir los interesados en realizar actividades de exploración y explotación del recurso geotérmico.
- Se anunciaran los estudios de exploración que en opinión de la autoridad se requieren para determinar la conexión o independencia hidráulica del yacimiento geotérmico con los acuíferos adyacentes o subyacentes

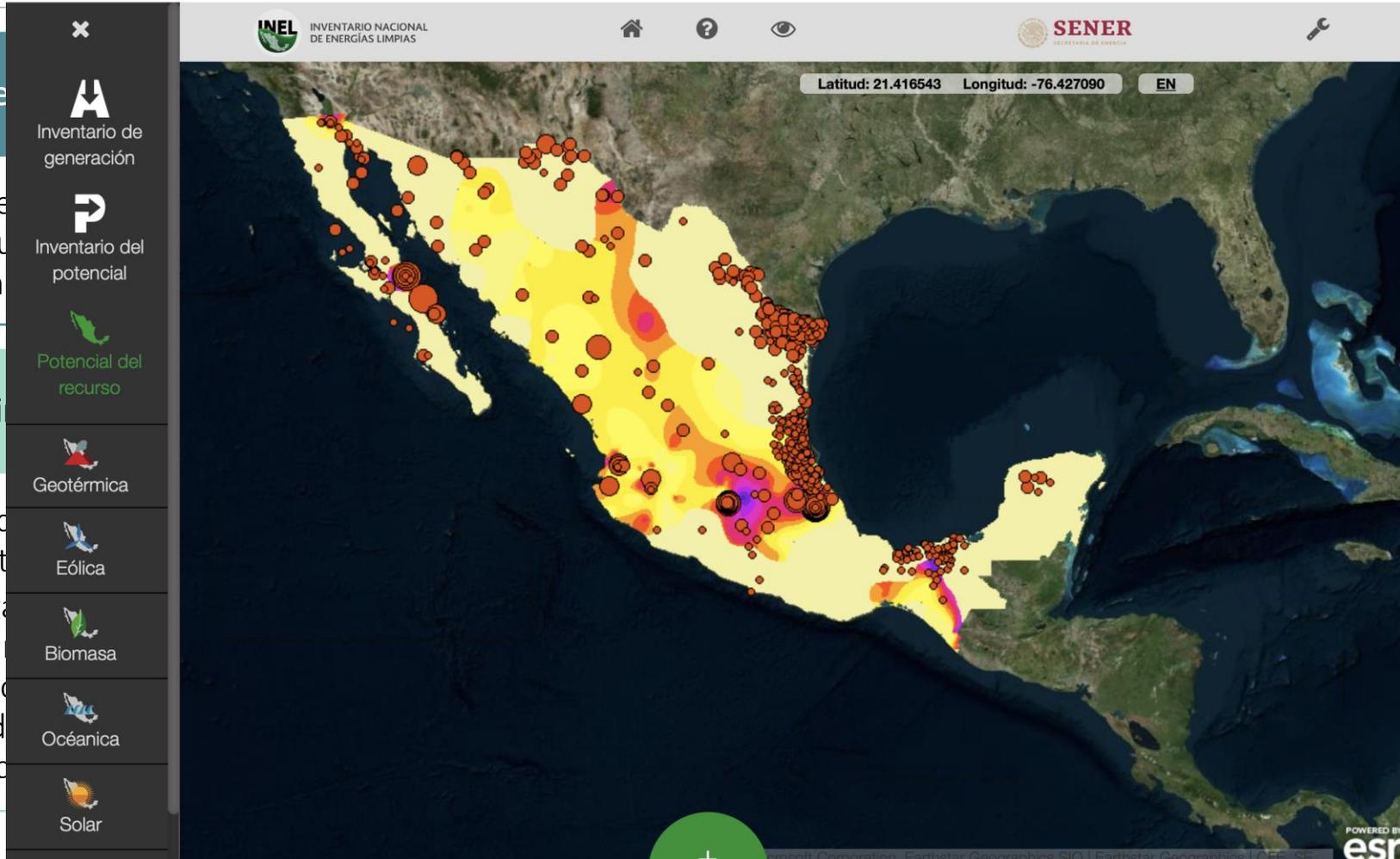
Incentivos creados

Incentivos le

- Ley de Ener
- Ley de Agu
- la LEG; Lin

Incentivos fi

- Fondos a d
- de Sustent
- Para mitiga
- se destina
- combinado
- creación d
- Geotérmic



Retos y acciones habilitadoras

- Técnicos, tecnológicos
- Económico
- Difundir y mejorar el marco regulatorio
- Difundir los instrumentos de financiamiento existentes que puede emplearse
- Fomentar nuevos instrumentos de apoyo financiero
- Fomentar el desarrollo de mercado de Usos Directos mediante proyectos demostrativos
- Desarrollar nuevos esquemas de negocios que demuestren la viabilidad técnica financiera de los proyectos
- **Difusión**
- Políticas enfocadas a las reducción del riesgo de inversión, sobre todo en la fase exploratoria
- Formación de recursos humanos (no nada mas las ´clásicas´)

¡Gracias!

Contacto:

Dra. Mariene Gutiérrez Neri

Email: mgutierrez@tlallienergia.com.mx