

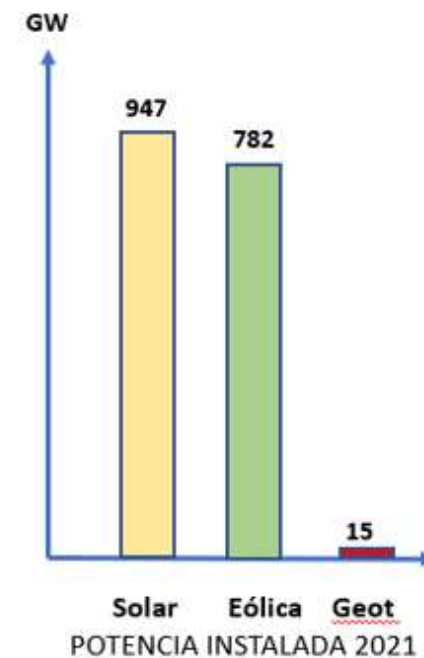
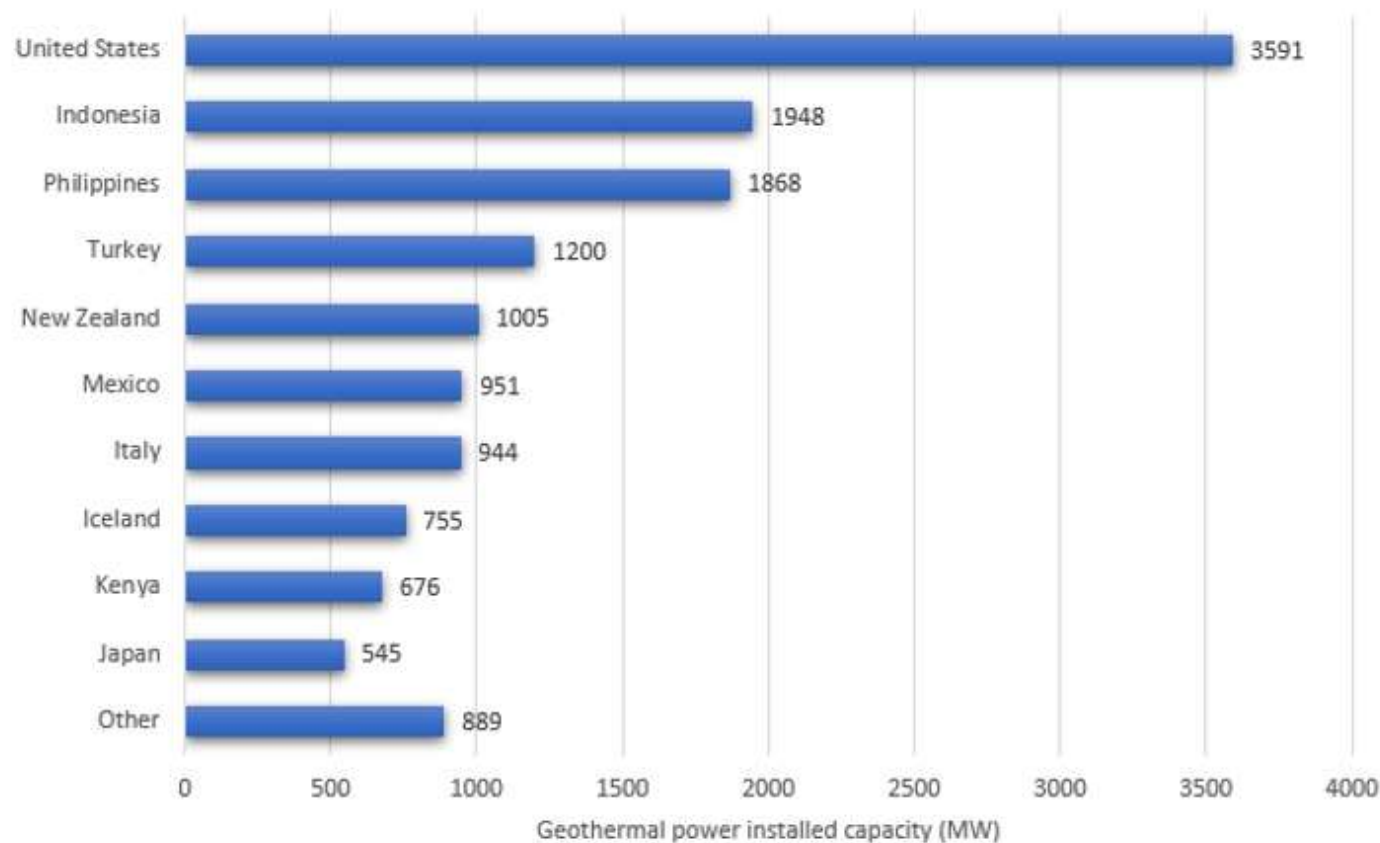


Revisión del Potencial Geotérmico Mexicano (con tecnologías tradicionales y nuevas)

Gerardo Hiriart L
Director General de GeoKeri
ghiriart@geokeri.com

2 julio 2022

Geotermia



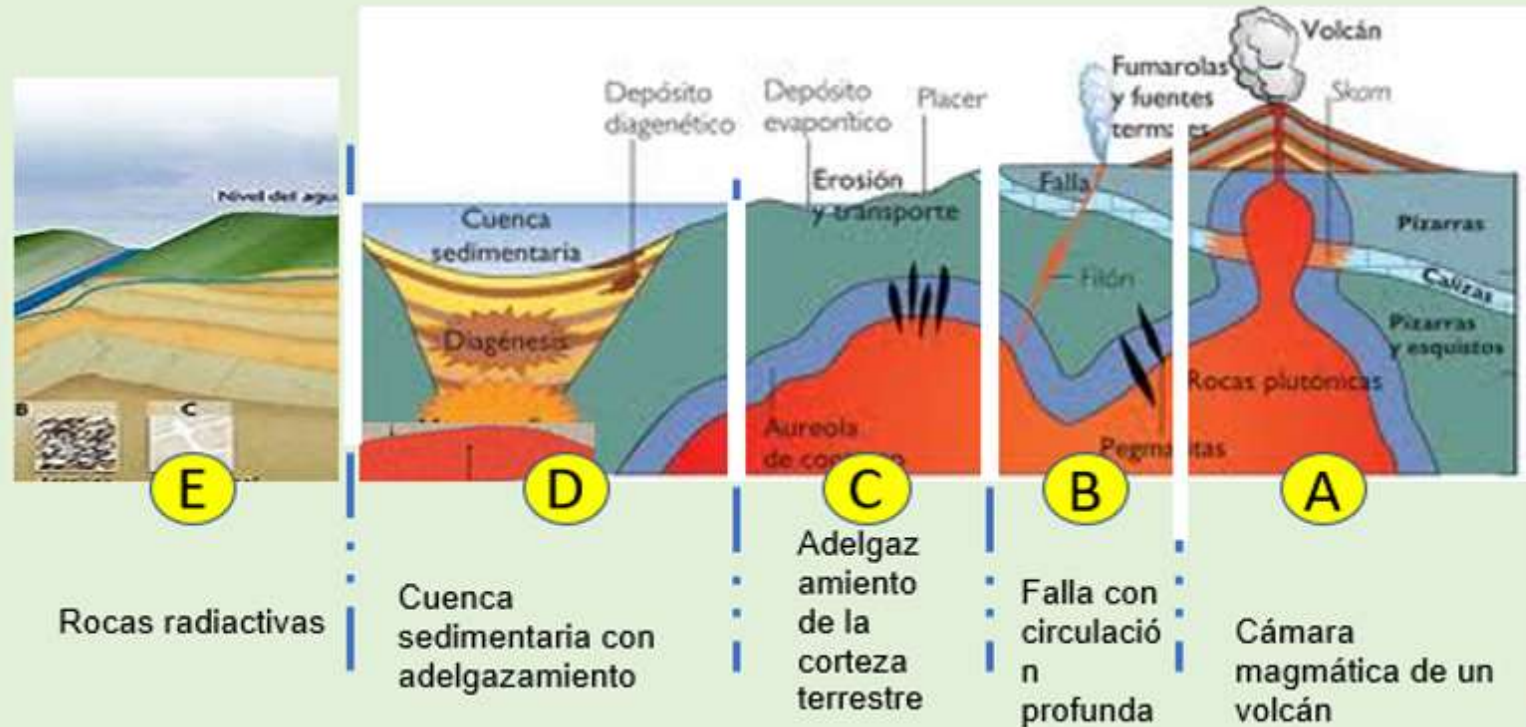


Centrales de algunos de los principales generadores de energía geotérmica

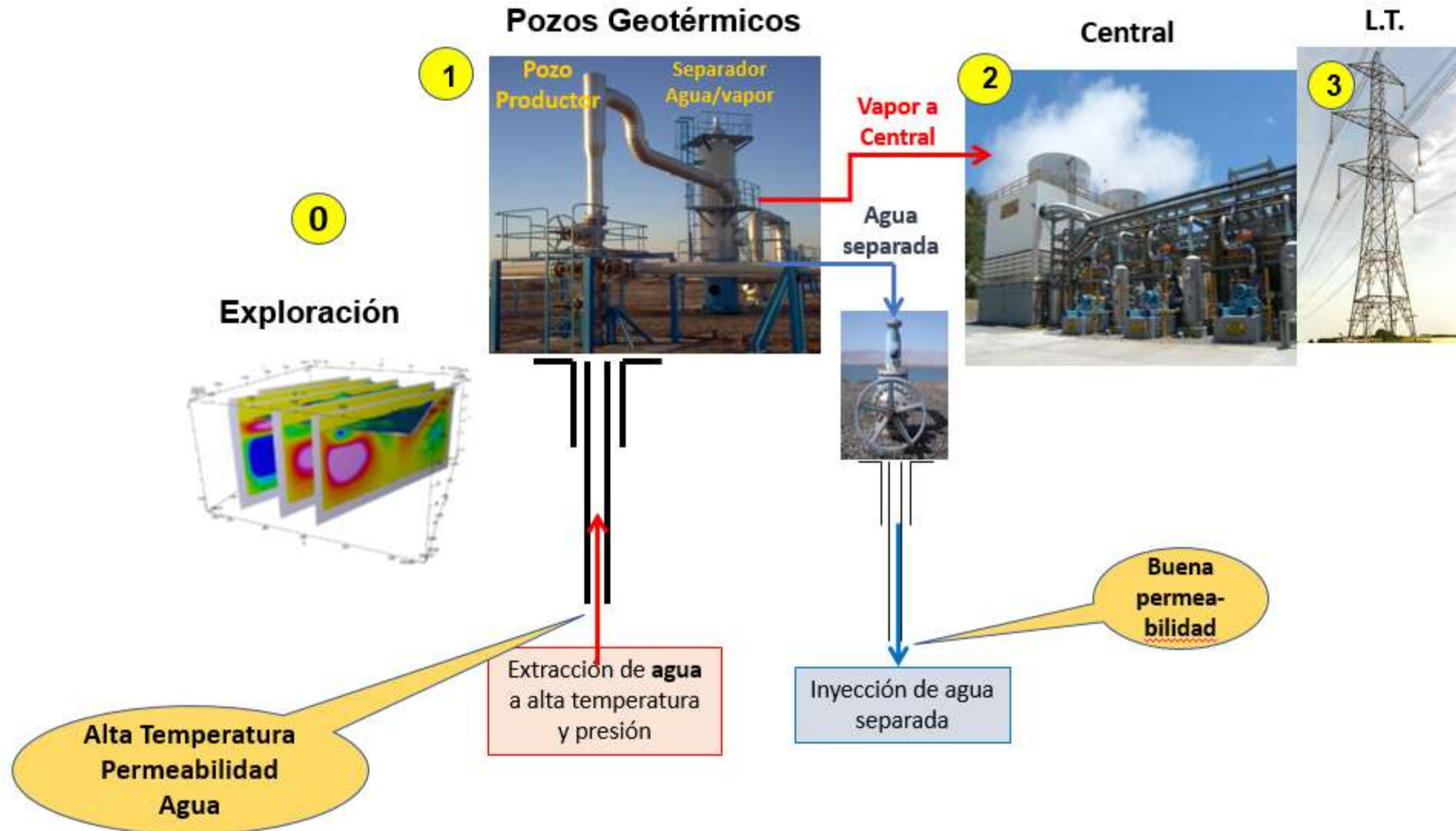
Hay algunos volcanes que guardan calor por muchos años y calientan el agua de los acuíferos



Por qué se calienta el agua del subsuelo....

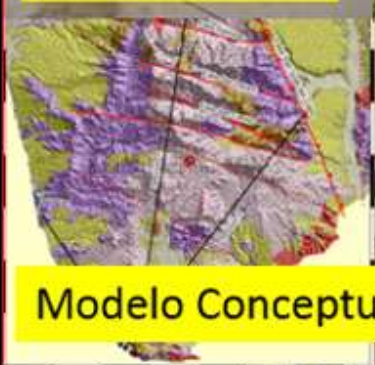


Etapas de un Proyecto Geotérmico



EXPLORACIÓN

Registros Geología Geofísica Geoquímica



Realidad

Encontrar calor

Recursos geotérmicos de México



Exploración Geoquímica

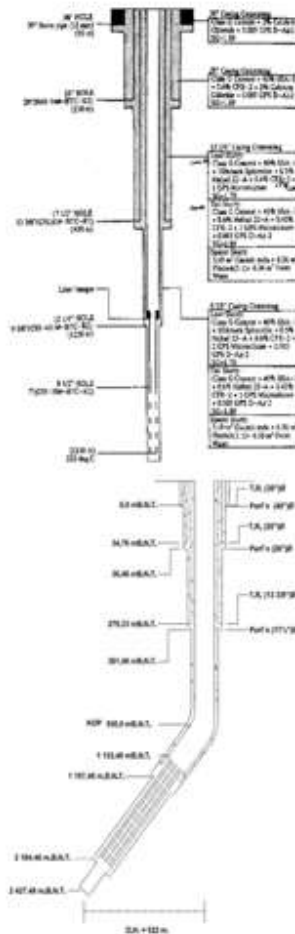
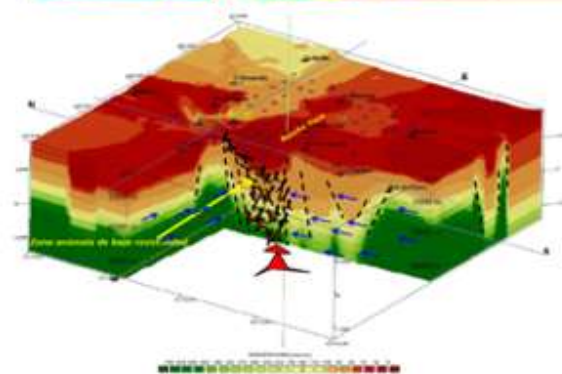
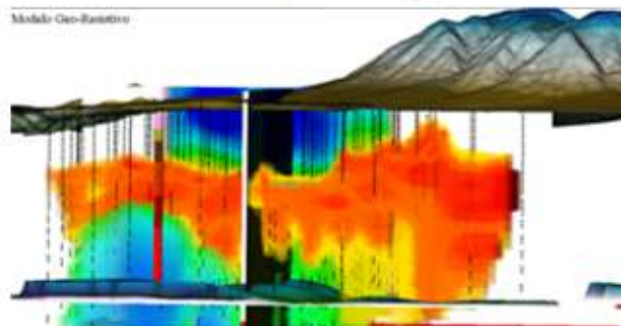
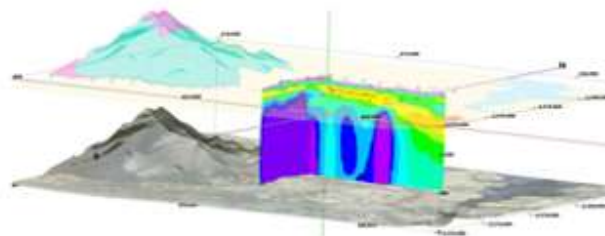
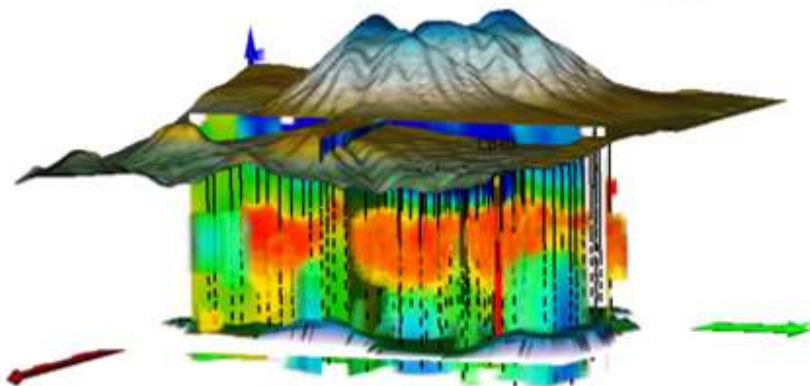
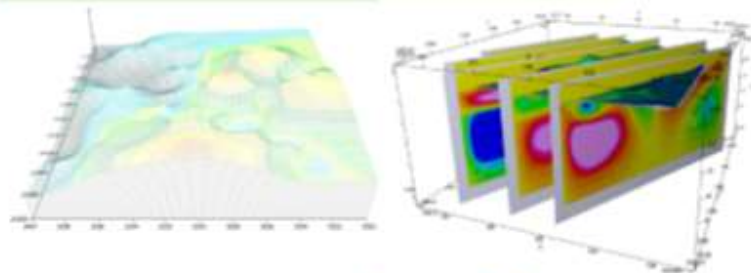


- Dejar durante miles de años
- Se disuelve Na, K, Ca, Si,
...
- Con la proporción entre ellos se calcula la Temperatura; Geotermómetro

Encontrar permeabilidad

Localización de pozos

Medición, Interpretación y modelado
TDM, SEV, MT, AMT, GRAVIMETRIA,
MEAGNETOMETRÍA, SÍSMICA.
3D Modelado (inversión 2D MT)



Datos muy generales

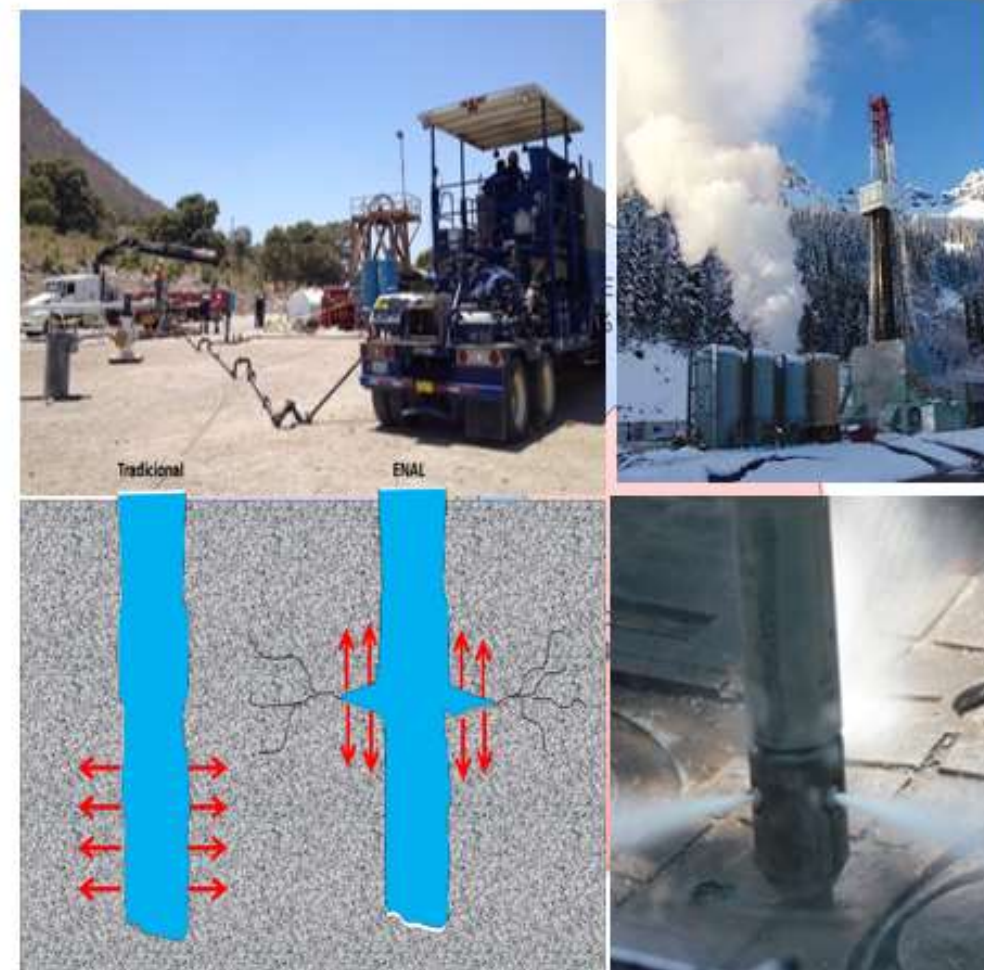
- Un pozo promedio cuesta US\$ 4 a 6 mdd
- Central requiere 7 T/h/MW
- Pozo bueno produce 50 T/h vapor
- Se producen 7 MW por pozo

Para mejor la economía del proyecto

- ✓ Centrarse en técnicas para **mejorar flujo** del pozo
- ✓ **Comenzar a generar** en cuanto esté listo el pozo.
- ✓ Usar inicialmente una central sencilla, sin condensador (BPU) Barata aunque bajo rendimiento.



Mejorar la permeabilidad



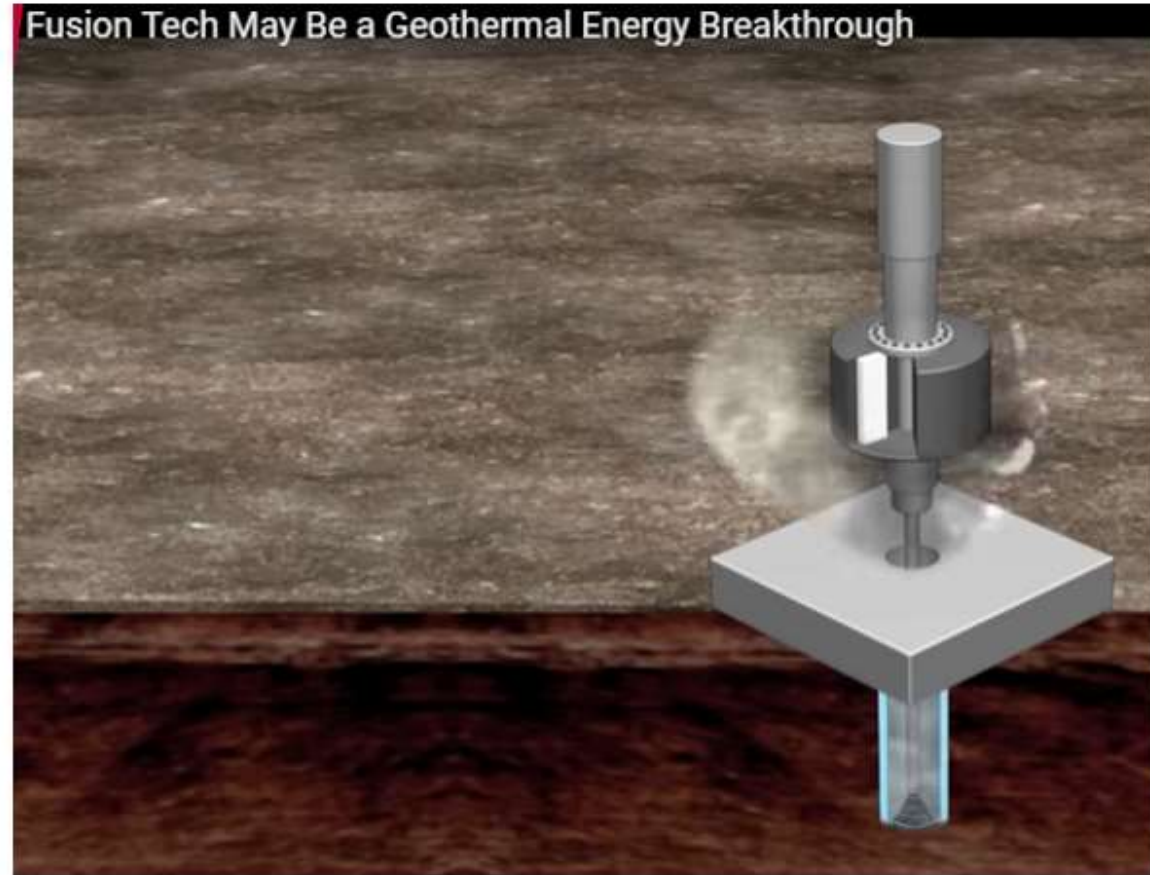
A nuclear fusion technology might revolutionize geothermal energy



It could harness the true potential of geothermal energy.

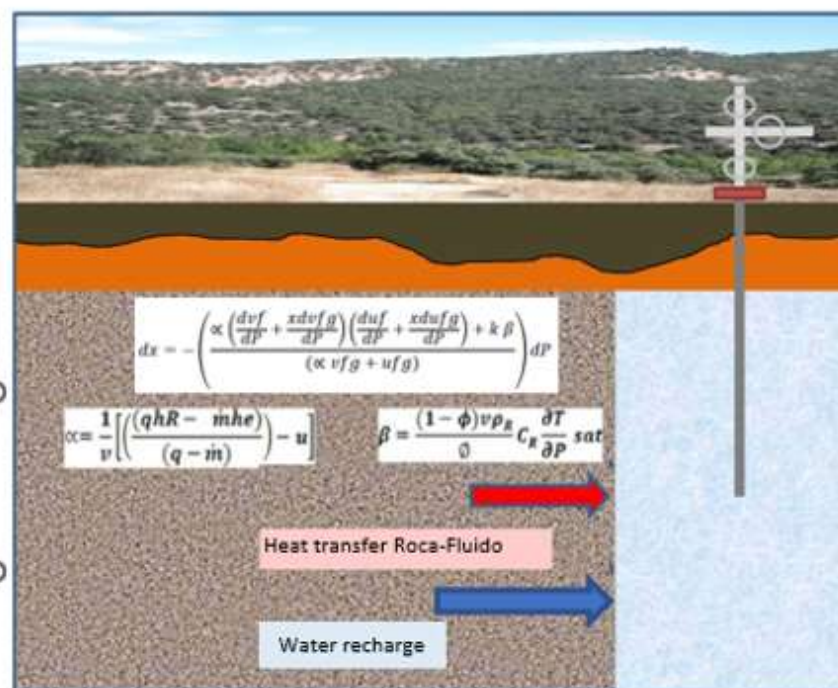
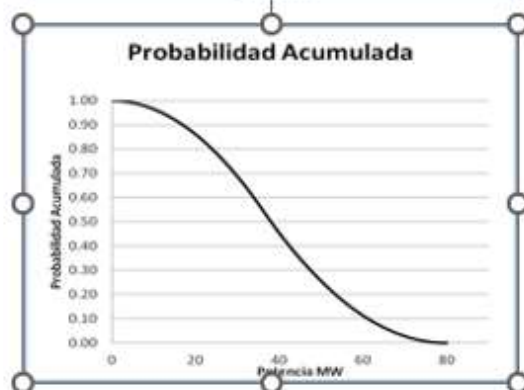
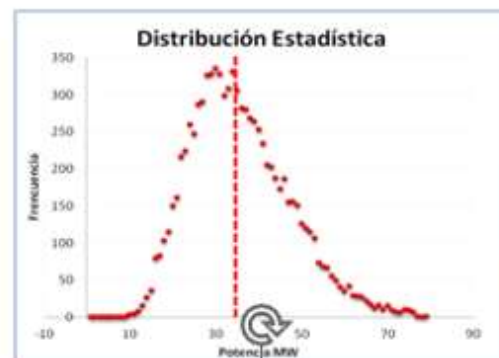
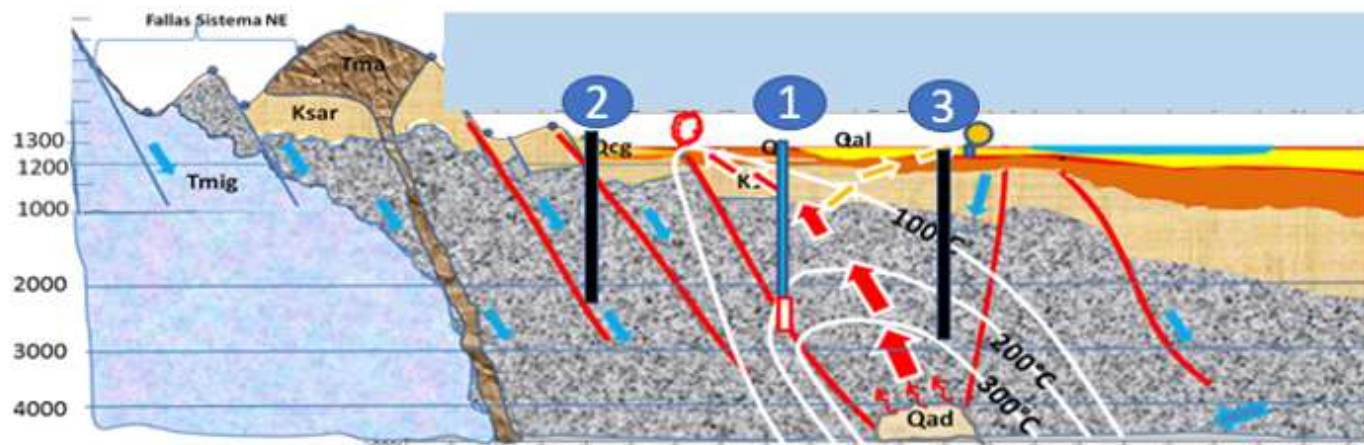


Fusion Tech May Be a Geothermal Energy Breakthrough



8" DIA, 10km deep hole electricity cost
\$500,000

Encontrar tamaño (Potencia) del campo



En lo técnico

Temperatura esperada del fluido
Lugar con buena permeabilidad
(en la zona caliente) para perforar
Potencia estimada de este
proyecto

Más otras condiciones:

Sociales, ambientales y
económicas
Ver....

Requisitos para desarrollar un proyecto geotérmico

A

Que exista el recurso geotérmico

- Alta Temperatura
- Agua
- Permeabilidad

Riesgo de encontrar lo realmente esperado

PGM
BID SENER

B

Costo estimado del proyecto

- Cuánta potencia puedo instalar
- Tipo y Costo de la Central
- Cuántos pozos se van a requerir
- Costo estimado de todo el proyecto

Costo del MW instalado y del MWh generado

\$3000/MW
\$50/MWh

C

Viabilidad social-ambiental-financiera

- Impacto social y ambiental
- Costo de generación del MWh
- Contrato venta de energía.

A quién le vendo la energía

- Venderla en el MEM
- PPA con otro privado
- Venderla en una Subasta de largo plazo
- Auto abasto

Pago
servicios
conexos

La Geotermia en México

Cerro Prieto, BC	570 MW
Los Azufres, Mich	250 MW
Los Humeros, Pue	110 MW
Tres Vírgenes, BCS	10 MW
Domo Sn Pedro, Nay	35 MW
En licitación	25 MW
Total	1000 MW



México ocupa el sexto lugar mundial en potencia geotérmica instalada

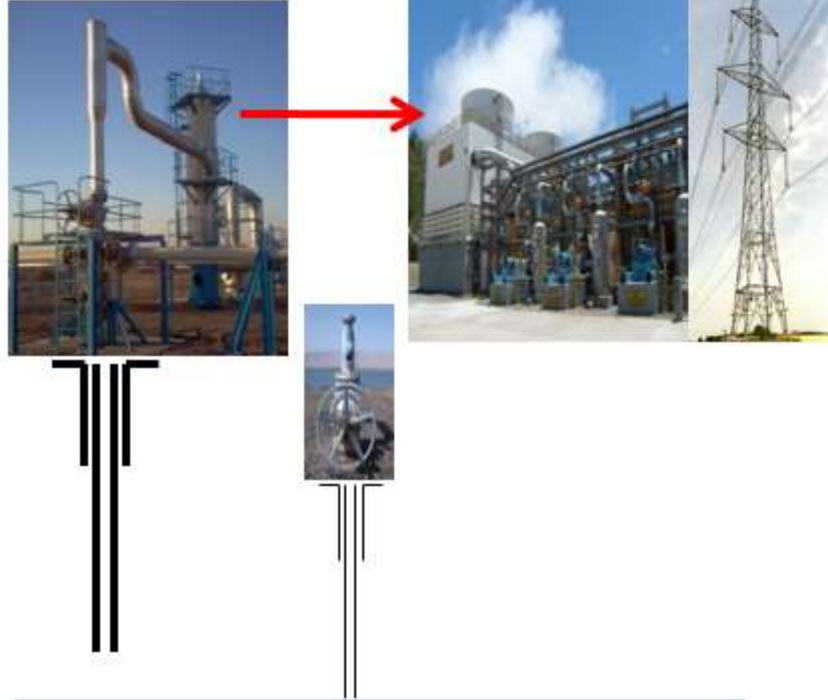


La geotermia, una energía muy mexicana



- Ocupó el tercer lugar mundial en Potencia Instalada
- Suministraba 70% de la energía del anillo BC
- Se cuenta con un gran número de técnicos, proveedores, ingenieros y científicos especializados en geotermia
- Se han perforado más de 400 pozos profundos
- Manufactura y tecnología con alto contenido nacional

CFE extrae del subsuelo 1.3 mbd de agua caliente



Energía Eléctrica Generada en un año:
 $50 \times 0.9 \times 8760 = 394\,000 \text{ MWh}$
 Inversión \$150 M
 Ingresos estimados \$30 M/año

Costo nivelado de la Energía (LCOE)

Costo Nivelado = $155 / (394 \times 9.42)$

Capex= 40 \$/MWh

O&M= 10 \$/MWh

LCOE= 50 \$/MWh

Central 50 MW

Inversiones muy aproximadas a precios de 2019
 (Millones de dólares)

ACTIVIDAD	Monto \$M
Estudios preliminares y pruebas	3
Pozos Exploratorios (3x\$2M)	6
Pozos Productores (7x\$6M)	42
Pozos Fallidos (2x\$3M)	6
Pozos Inyectores (2x\$3M)	6
Terrenos, permisos, ingeniería	3
Caminos, vaporductos Infraestructura	4
Central geotérmica	75
Línea de transmisión	5
Total (\$M)	150



Planta BPU 0.5 MW de monitoreo continuo y generación anticipada
Diseño propio, Premio PRODETES



Plantas BPU de 5 MW
Poco eficientes económicas



Plantas Binarias y eficientes
Módulos de 12.5 MW
(fabricar cien en México)



50 MW
394 GWh/y
40 mdd/y

- El costo de la geotermia es seriamente afectado por los tiempos de espera
- Estudiar y resolver a tiempo los problemas de incrustación en pozos y turbinas
- Los pozos hay que abaratarlos, pero sobre todo que produzcan el doble o el triple de vapor



Aportaciones de la energía geotérmica

1. Es energía permanente y constante
(sin intermitencias ni fluctuaciones)
2. Es limpia y renovable
3. No consume agua de enfriamiento
4. Se puede usar el calor residual en otras aplicaciones (cogeneración)
5. Es abundante en México
6. En México; experiencia de 50 años
7. Se pueden recuperar sales valiosas de la salmuera geotérmica
8. Puede vender CEL
9. Puede vender capacidad firme
10. Puede vender servicios auxiliares



Sales valiosas

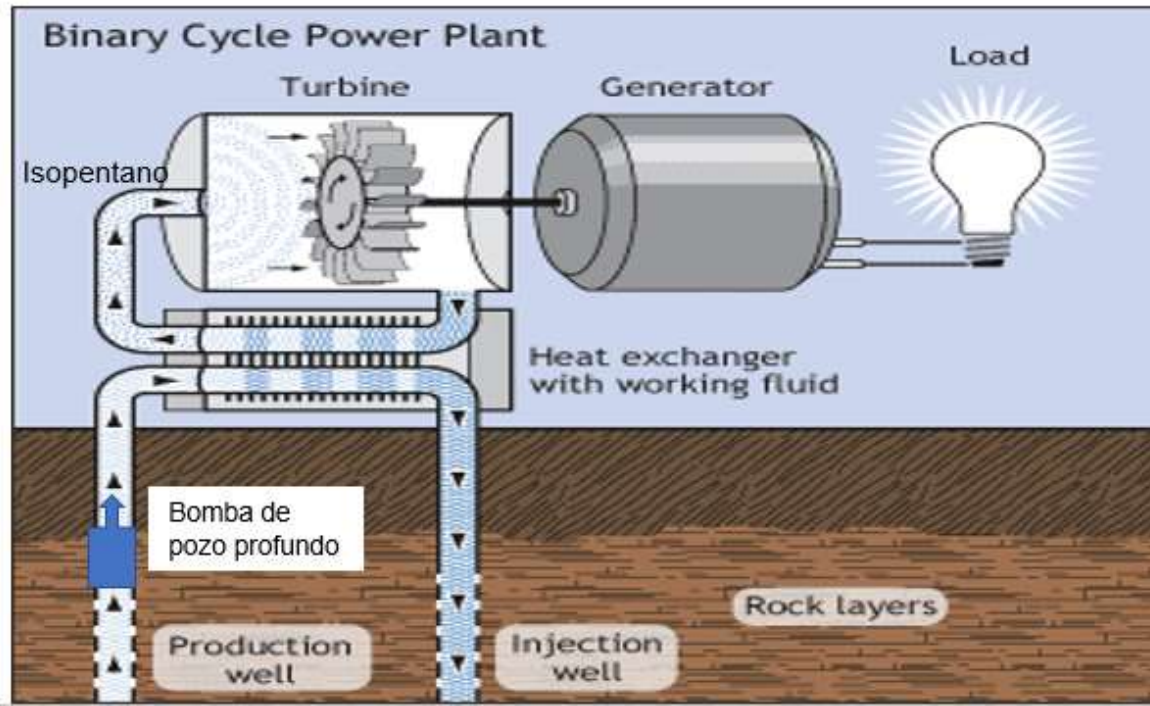
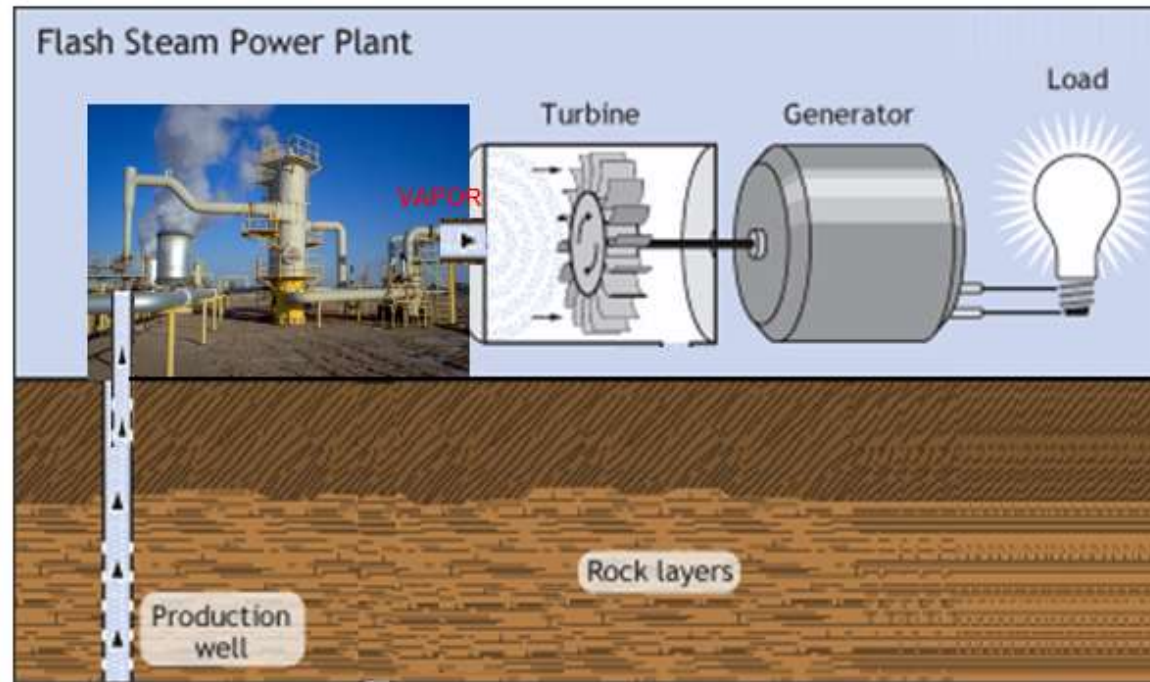
Cloruros de:
Sodio
Potasio
Litio

Plantas de generación

Planta de Flasheo
(o evaporación instantánea)

- a) con Condensación
- b) sin Condensación
(a Contrapresión)

Ciclo Binario



Diferentes tipos de plantas de generación



Plantas a Condensación



Plantas a Contrapresión



Plantas Ciclo Binario



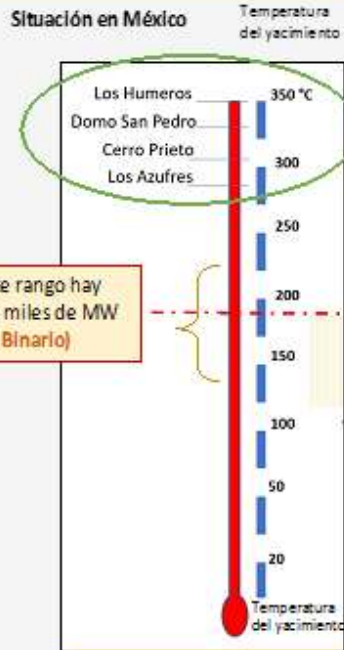
Mini Plantas Binarias



Replantear el desarrollo de la geotermia en el país; a) **Geotermia Convencional**

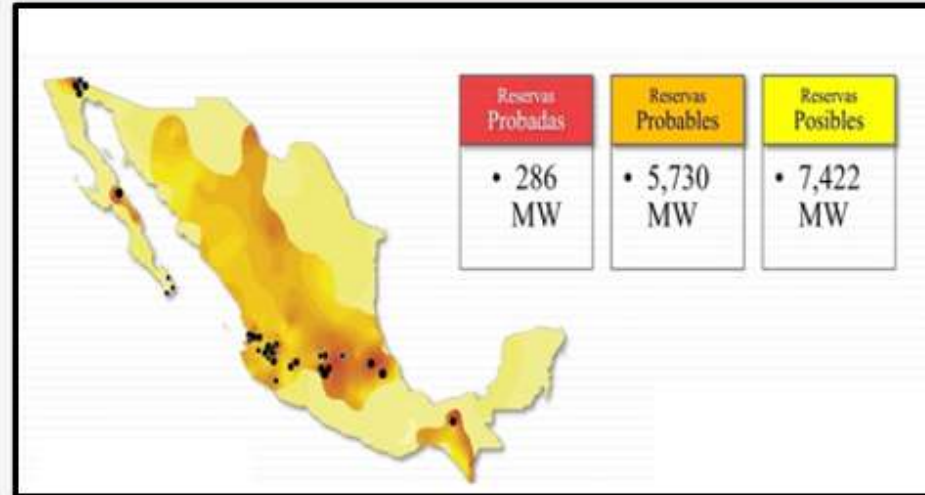
Distribuida

Aprovechamiento de recursos de todas las temperaturas



Geotermia:

- ✓ Una energía limpia, permanente y sin fluctuaciones
- ✓ Abunda sólo en algunos países
- ✓ Es económica y confiable
- ✓ Con tradición y experiencia mexicana



Desarrollos nacionales



Generación temprana boca-pozo



Generación en manantial sin perforar pozo; Impresa en 3D



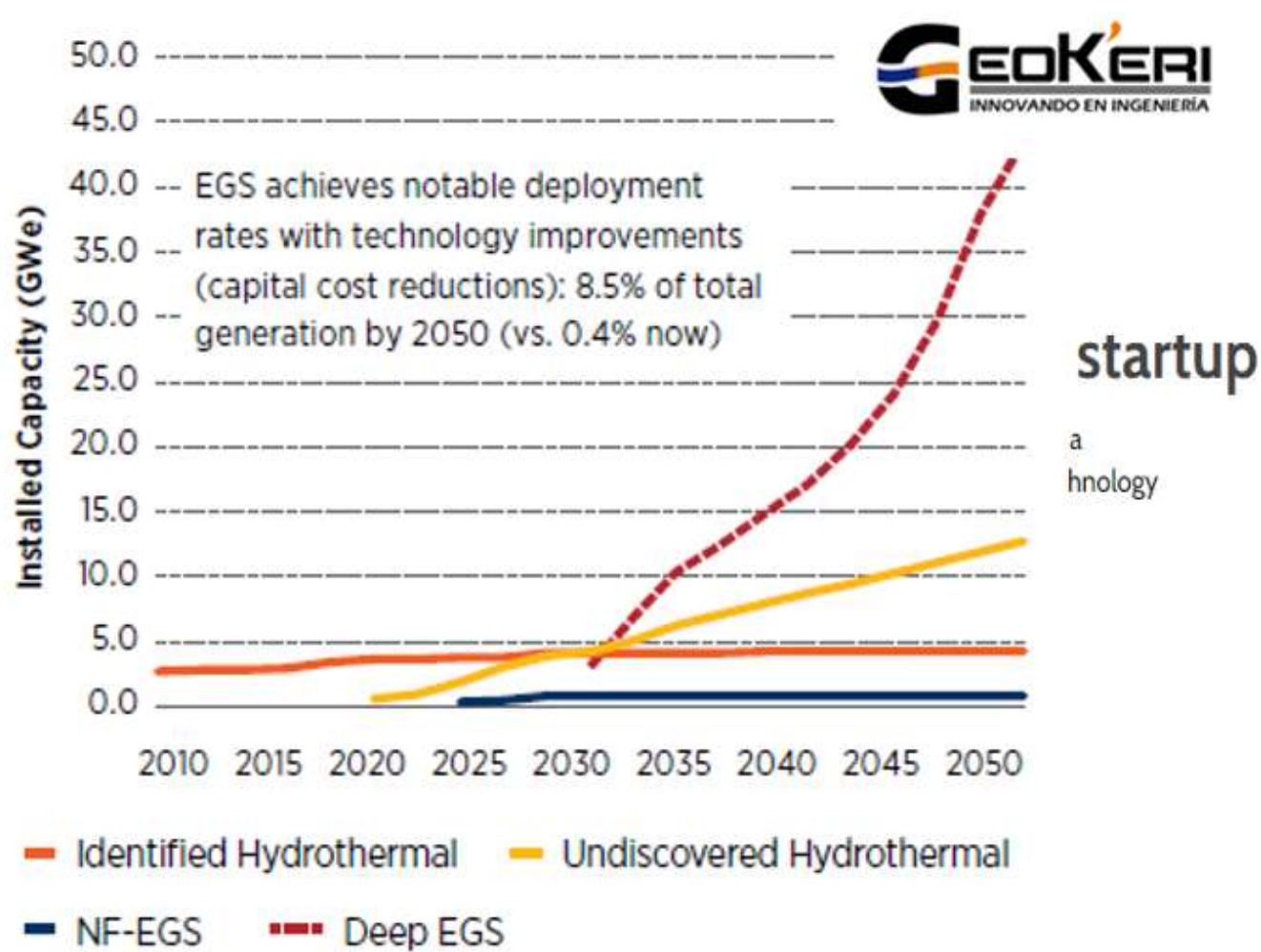
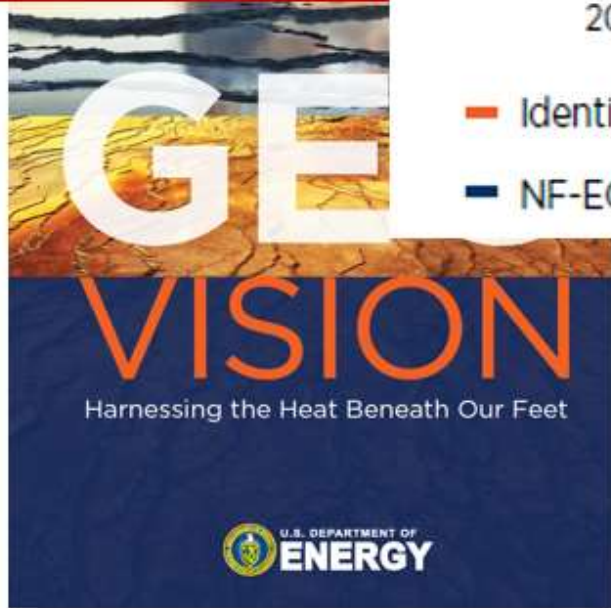
- Se puede incrementar la potencia actual de 1,000MW a 3,000 MW
- Iniciar campaña con plantas pequeñas
- Fomentar usos directos y bombas de calor
- Probar la Geotermia submarina



La geotermia ha recibido un gran impulso para ayudar a combatir el cambio climático. (Energía firme, limpia y sin intermitencia) Después de la crisis energética por la invasión de Rusia a Ucrania, la geotermia cobra nuevo impulso (Bombas de calor)



Geothermal Energy: Revolutionary Energy Source for a Green Europe



GeoVision Scenario	Identified Hydrothermal MWe	Undiscovered Hydrothermal MWe	Near-Field EGS MWe	Deep EGS MWe
BAU and IRT	5,078	18,830	1,382	3,375,275
T1	5,128	23,038	1,443	4,248,879

Table 3-2. Geothermal Resources Available for Development for Electricity Generation (in megawatts-electric, MWe) in the Regional Energy Deployment System Model (ReEDS) under the GeoVision Analysis Scenarios

Geothermia No Convencional

Estimated potential for geothermal energy

Estimated Geothermal Potential		Electricity (GW)	Heat utilisation
Technical Potential	Hydrothermal systems	200	5 000
	Engineered systems	1 000	
Economic Potential	Hydrothermal systems (by 2050)	70	800
	Engineered systems (by 2050)	70	



GEOHERMAL: THE SOLUTION UNDERNEATH

The value of Geothermal for a Clean Energy Transition

Geothermal hot water found in oil reservoirs could potentially be harnessed

June 3, 2022

DOE Invests \$6 Million in Geothermal Heating and Cooling Technologies at Federal Facilities

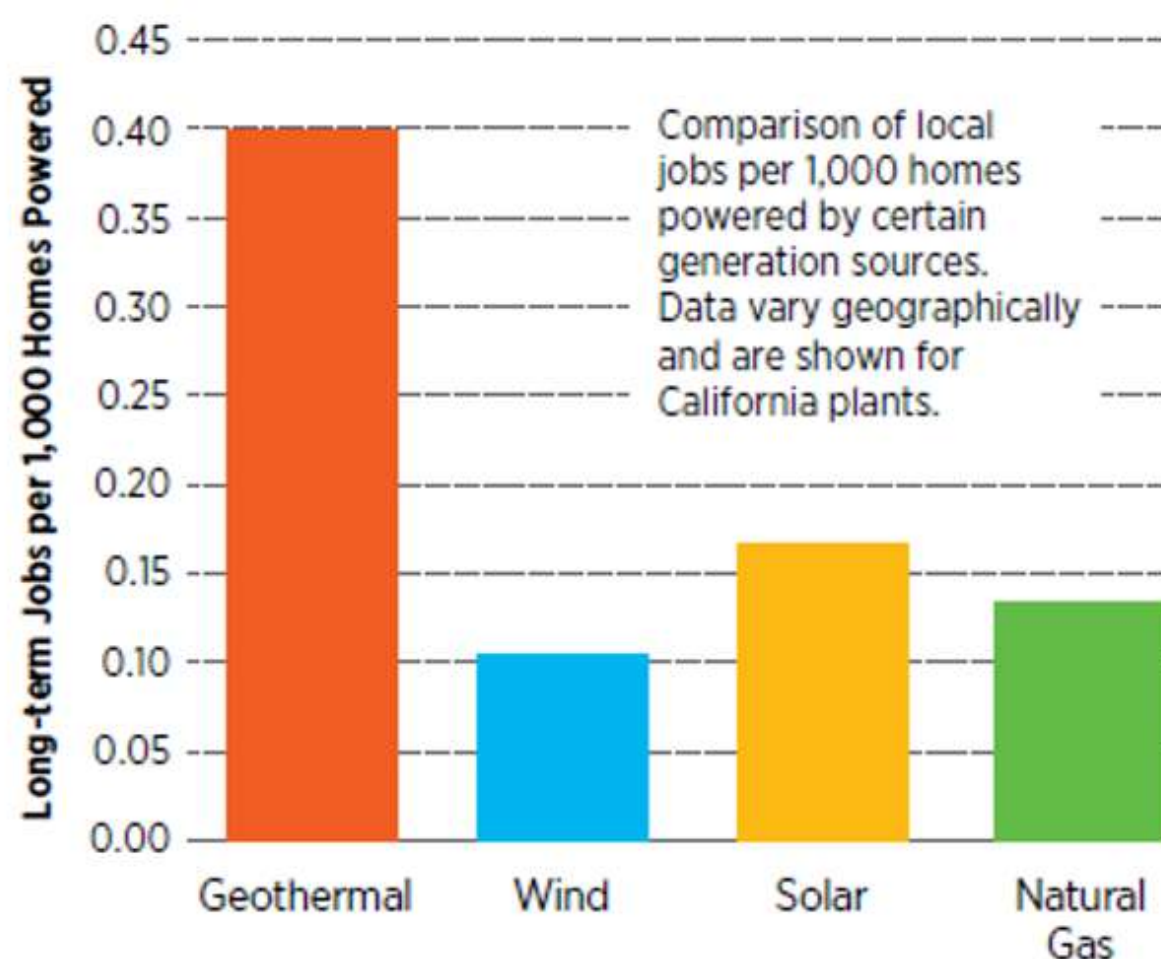


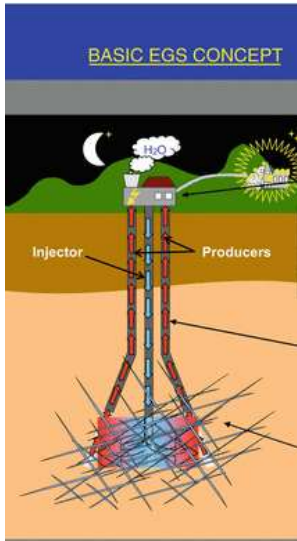
Figure 4-11. Comparison of long-term jobs per 1,000 homes powered, by energy-generation technology

Figure Note: Geothermal can provide more than double the long-term jobs per powered household compared to other electricity-generation technologies considered. As indicated, data shown are for California power plants.

Replantear el desarrollo de la geotermia en el país; a) **Geotermia No Convencional**

Descripción de las Tecnologías ESG y Supercrítica

Tecnología ESG (Roca seca caliente)



- Se aprovecha el gradiente de calor natural del subsuelo (unos 30°C/km)
- En particular sitios con un gradiente anómalamente alto

Ventajas:

- Se puede instalar casi en cualquier sitio del país, cerca del centro de consumo

Inconveniente:

- Pozos muy profundos para lograr temperaturas adecuadas
- Baja eficiencia térmica

Tecnología Supercrítica (>374°C)

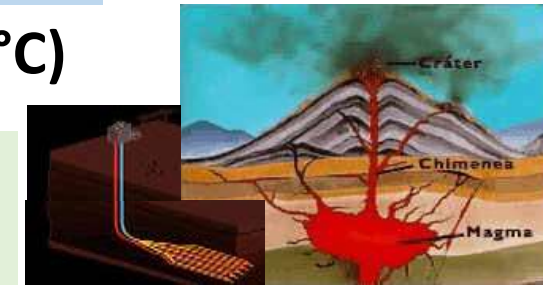
- Se aprovechan sitios con yacimientos de muy alta temperatura (>374°)
- En particular zonas cercanas al magma de volcanes o grietas muy profundas

Ventajas:

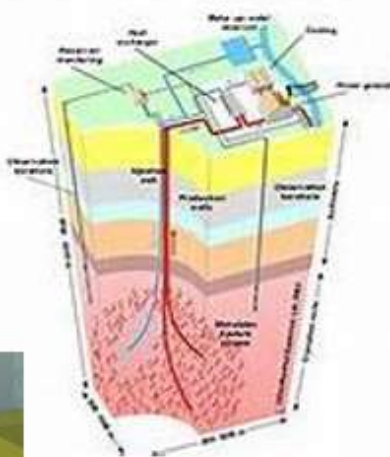
- Con muy poco fluido extraído de producen altas potencias

Inconveniente:

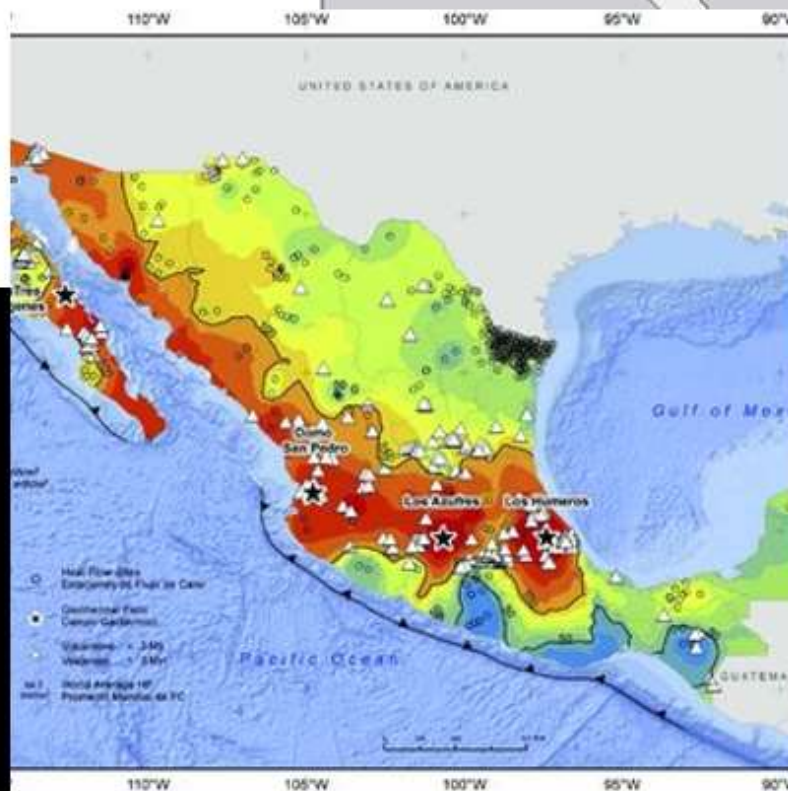
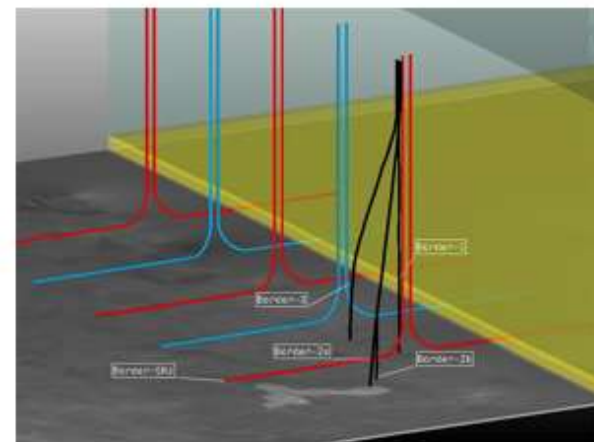
- Hay que instalarse cerca de los puntos calientes, alejados del centro de consumo
- Perforación en zonas de muy alta temperatura es difícil



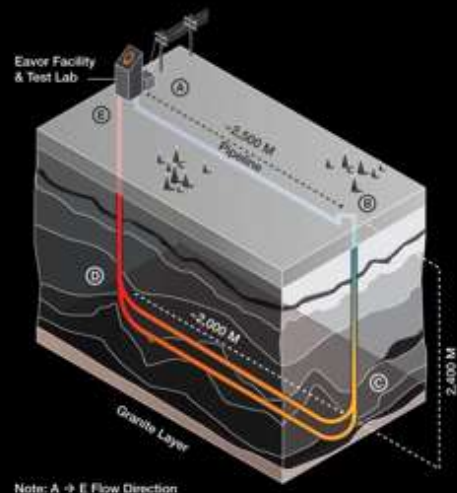
Roca seca caliente y EGS



Geotermia No Convencional (EGS)



Heat flow and geothermal provinces in Mexico
Rosa María Prol-Ledesma,, Dante Jaime Morán-Zenteno
Geothermics 78 (2019)



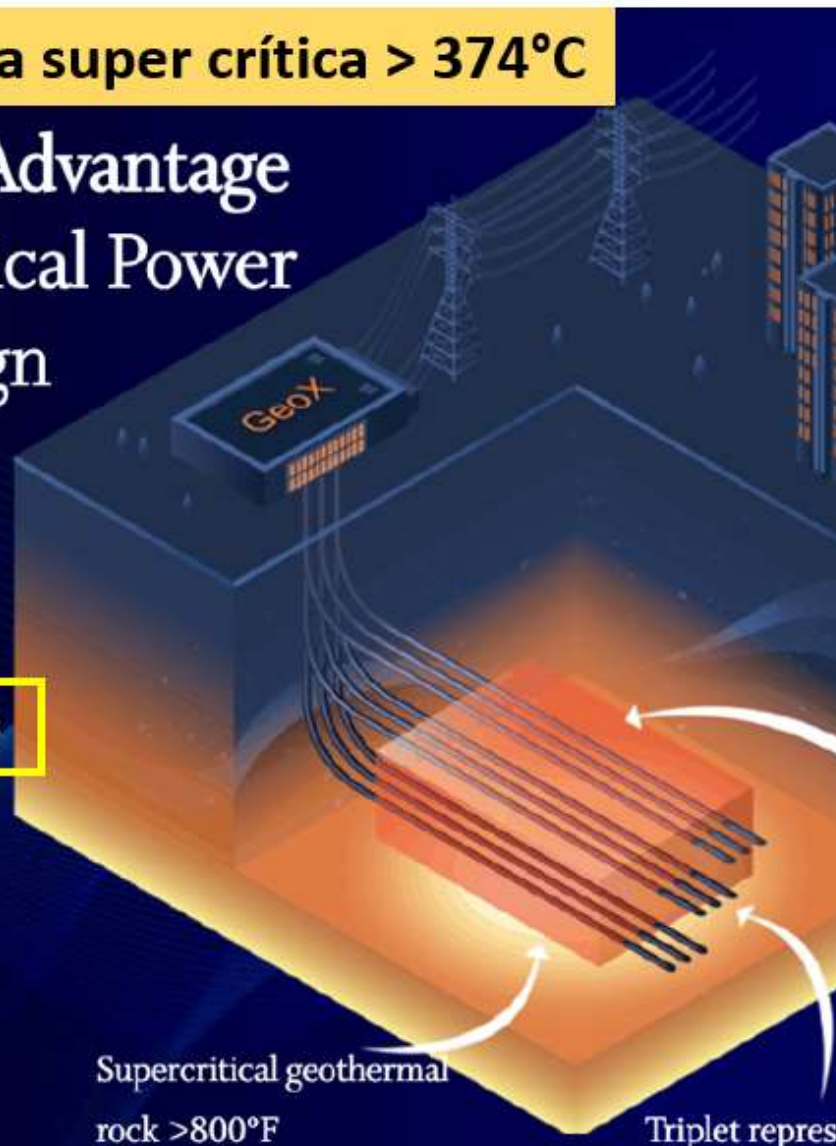
Note: A → E Flow Direction

Geotermia super crítica > 374°C

Technology Advantage 1st Supercritical Power Station Design

1

- 1000MWn Plant consists of 20 Triplets
- > 40 Billion Cu/Ft Heat Exchanger
- Small footprint, under 1500 acres



Supercritical geothermal
rock >800°F

Triplet represents one injector
& two producing wells

Lowest Baseload LCOE-MWh

GeoX	<\$30
Nuclear	\$69
Gas CCS	\$91
Conventional Geothermal	\$99
Coal CCS	\$116
Biomass	\$117

• Levelized Cost of Electric (IEA 2020 Median - 7% Discount)

• www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020

Geotermia super crítica > 374°C

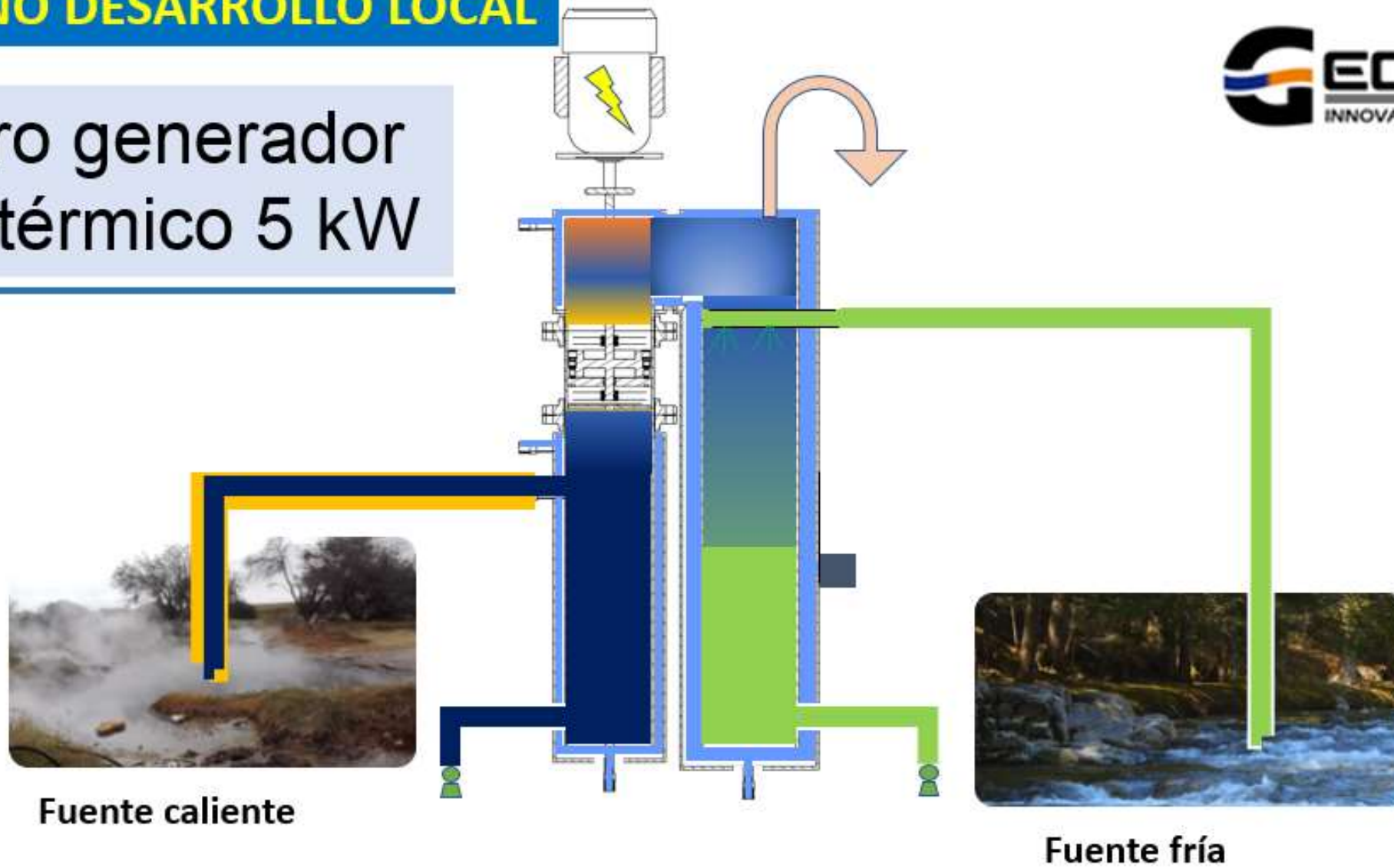
Geotermia Súper Crítica

- ◆ (1) Acoculco
- ◆ (2) Caldera La Primavera
- ◆ (3) Caldera Los Hornos
- ◆ (4) Domo de San Pedro
- ◆ (5) Nevado de Toluca
- ◆ (6) Volcán Chichonal
- ◆ (7) Volcán de Colima
- ◆ (8) Volcán Popocatepetl
- ◆ (9) Volcán Tacaná
- ◆ (10) Volcán Tequila



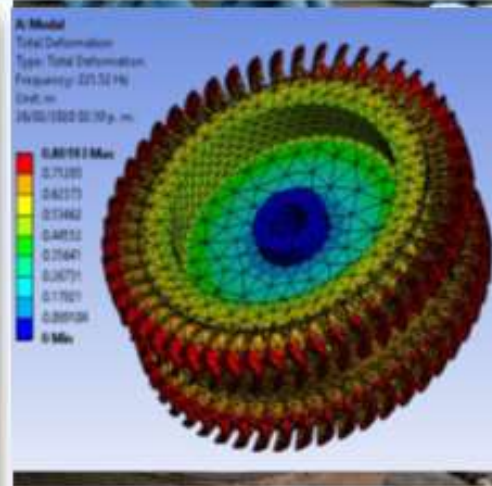
PEQUEÑO DESARROLLO LOCAL

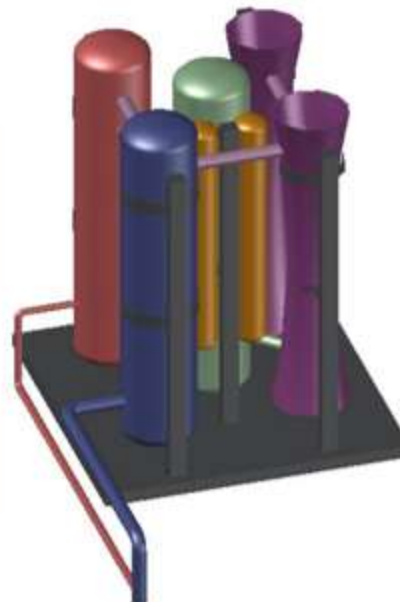
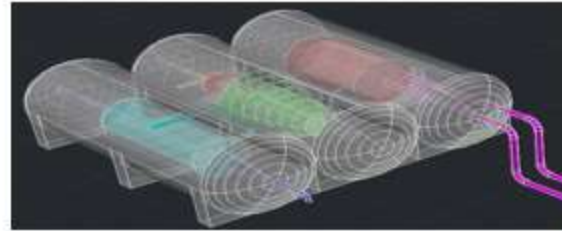
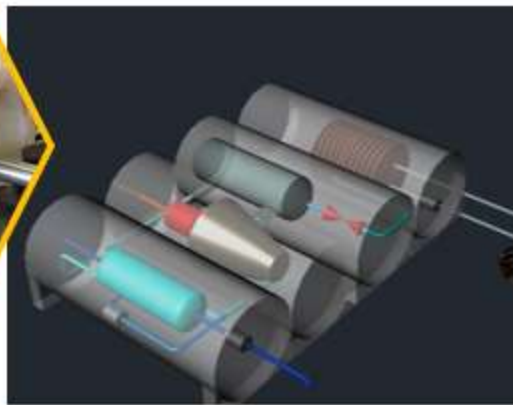
Micro generador geotérmico 5 kW



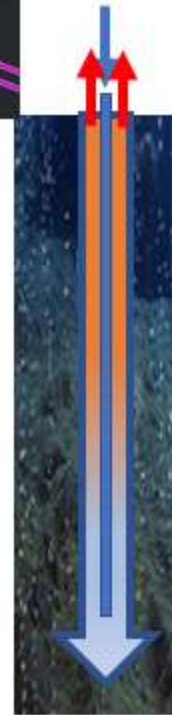
- No se perforan pozos
- No se usan intercambiadores de calor

Micro generador geotérmico de 5kW, que funciona con agua caliente de manantiales





Generación geotérmica submarina



Pozos petroleros con agua caliente

Se está estudiando la tecnología más adecuada para generar electricidad
Se recopila información (datos) de temperatura y flujo de agua asociada
Se estudian pozos abandonados con abundante agua caliente
Hay muchos pozos con posibilidades de generación pero muy poca

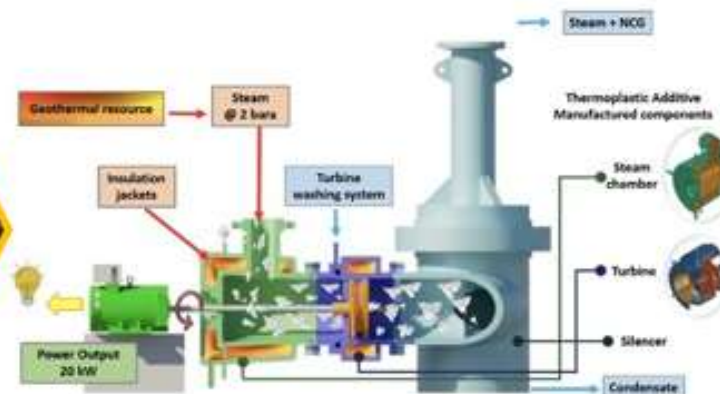


Colombia, Parex Res. Campo Maracas



[Secretaría de Energía (SENER), Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL), Comisión Nacional de Hidrocarburos]

- ✓ Turbina con su carcasa y tanques de evaporación y condensado, toda impresa 3D en plástico
- ✓ Generar hidrógeno a baja presión
- ✓ Camión recolector



Recalcular el potencial de la geotermia en el país;

a) **Geotermia Convencional**, más

b) **Geotermia N Convencional**

Tecnologías

Hidrotermales (7000 MW)

- a) Con Manifestaciones (4000 MW)
- b) Ciegos. Sin evidencia (3000 MW)

Distribuida (60 MW)

Potencia inferior a 2 MW
Distribuida en manantiales
Alto beneficio social

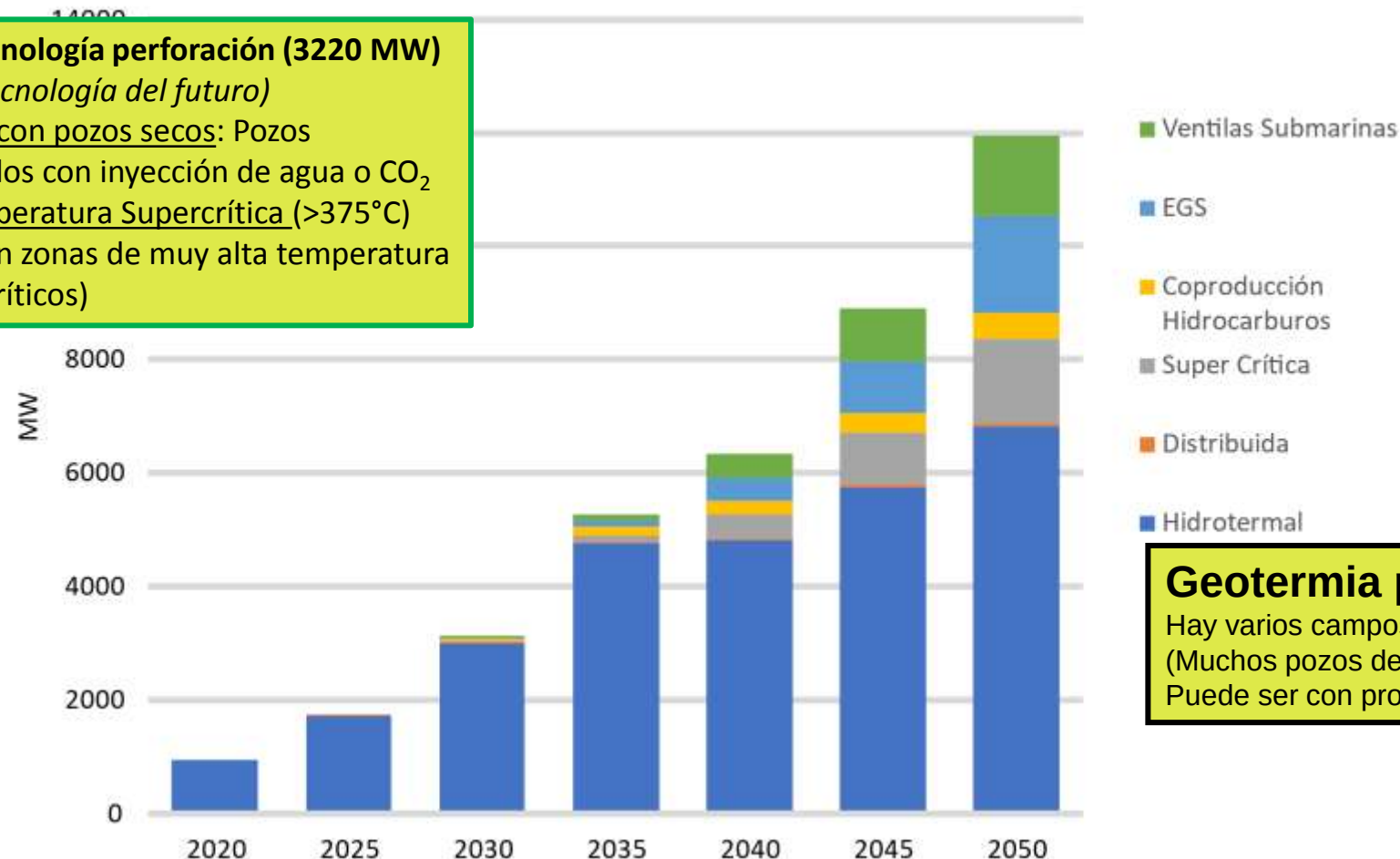
Submarina (1420 MW)

Posible probar pronto un piloto
Tecnología con liderazgo mexicano
Gran potencial mundial

Geotermia pozos petroleros (450 MW)

Hay varios campos candidatos en México
(Muchos pozos de poca potencia)
Puede ser con producción de H₂V

Capacidad acumulada Geotérmica

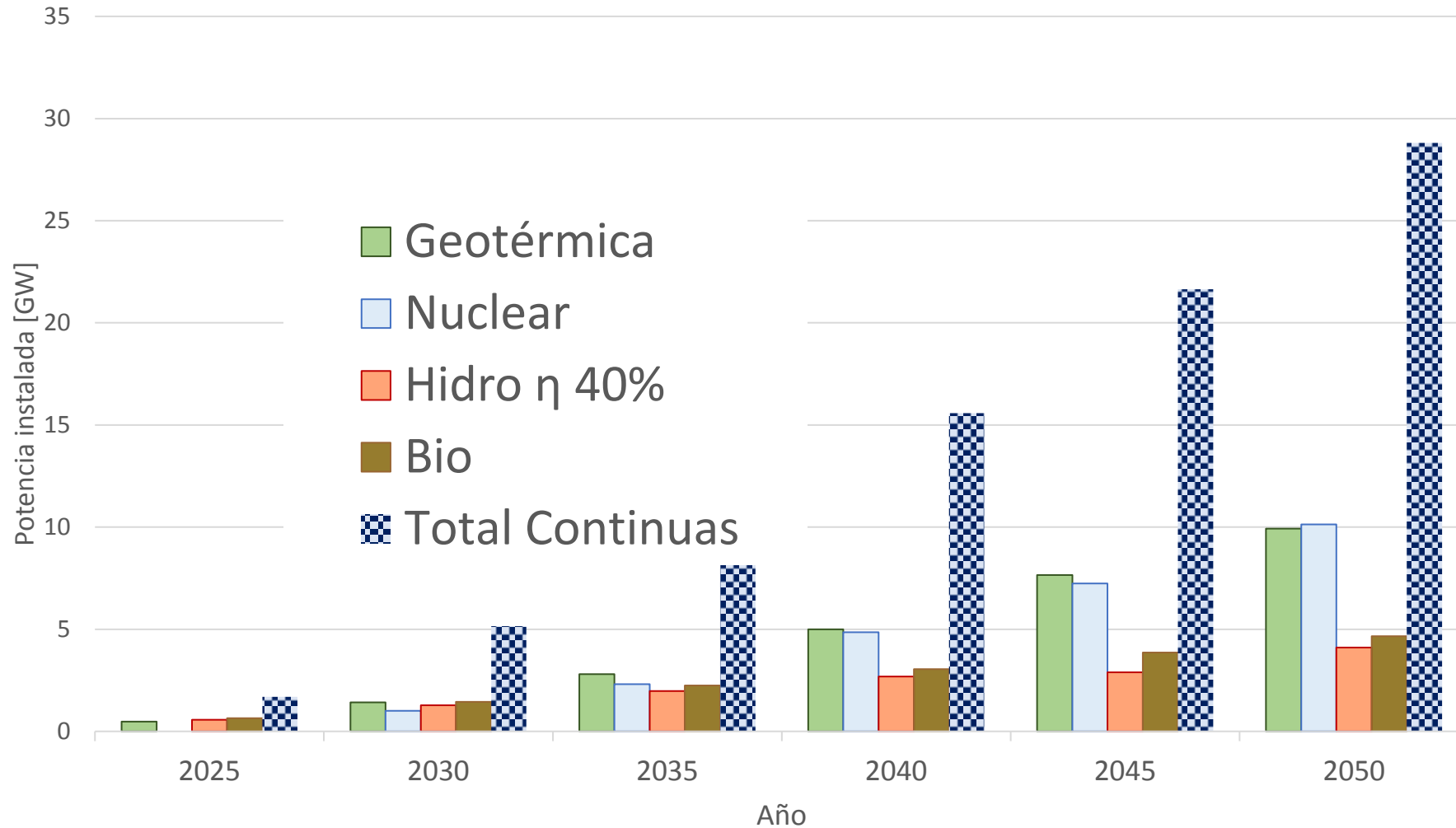


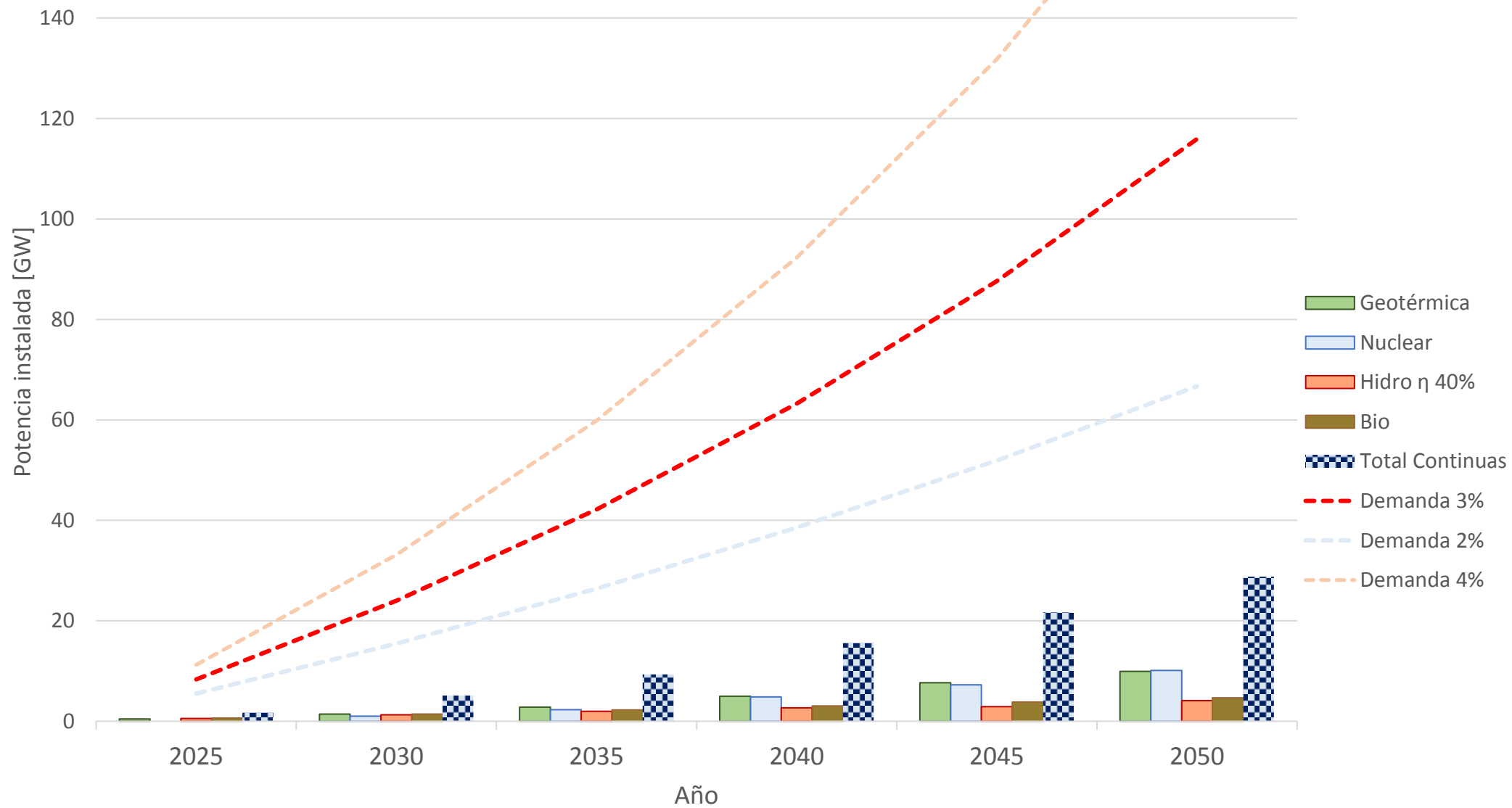
Alta tecnología perforación (3220 MW)

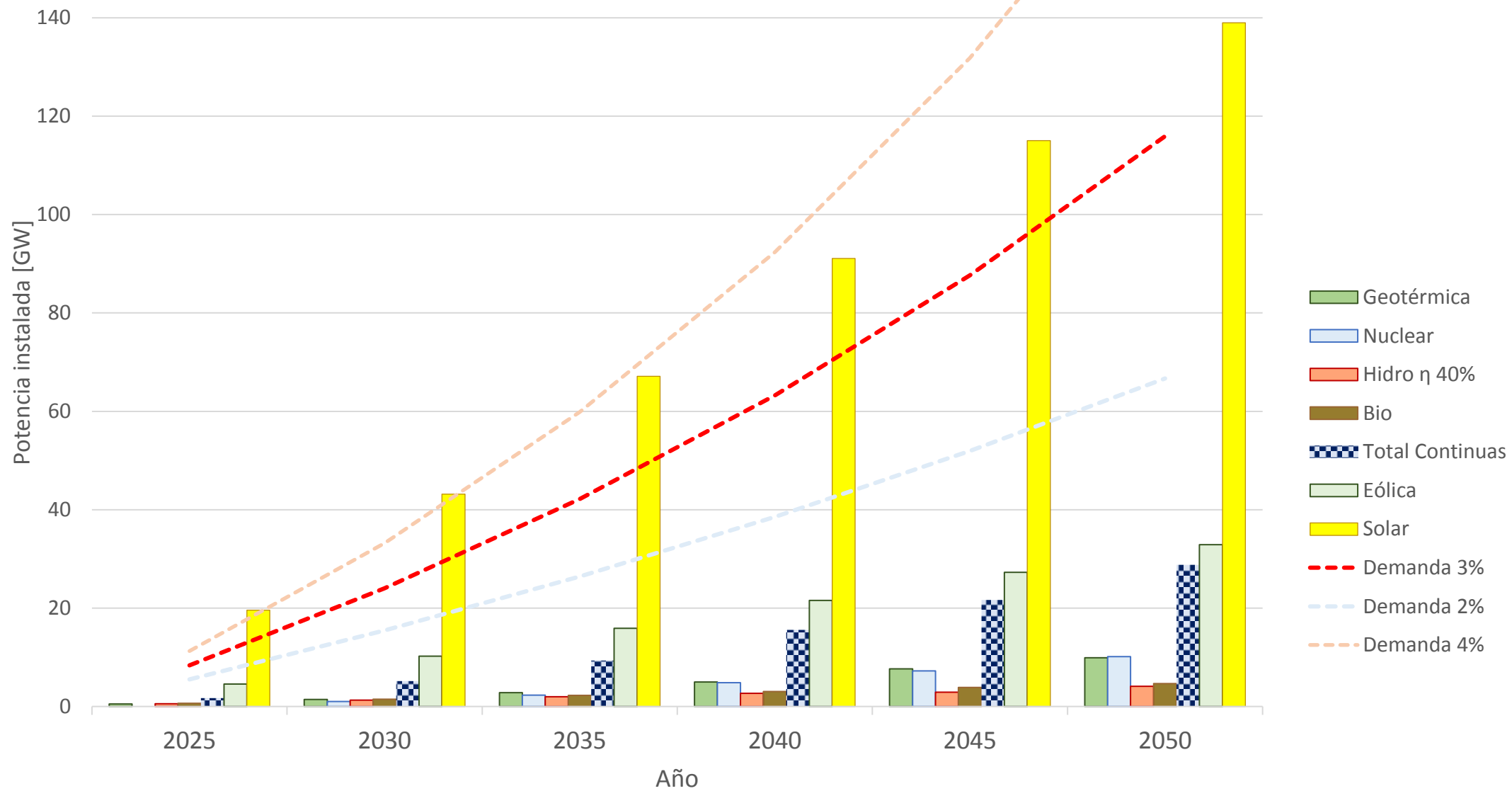
(es la tecnología del futuro)

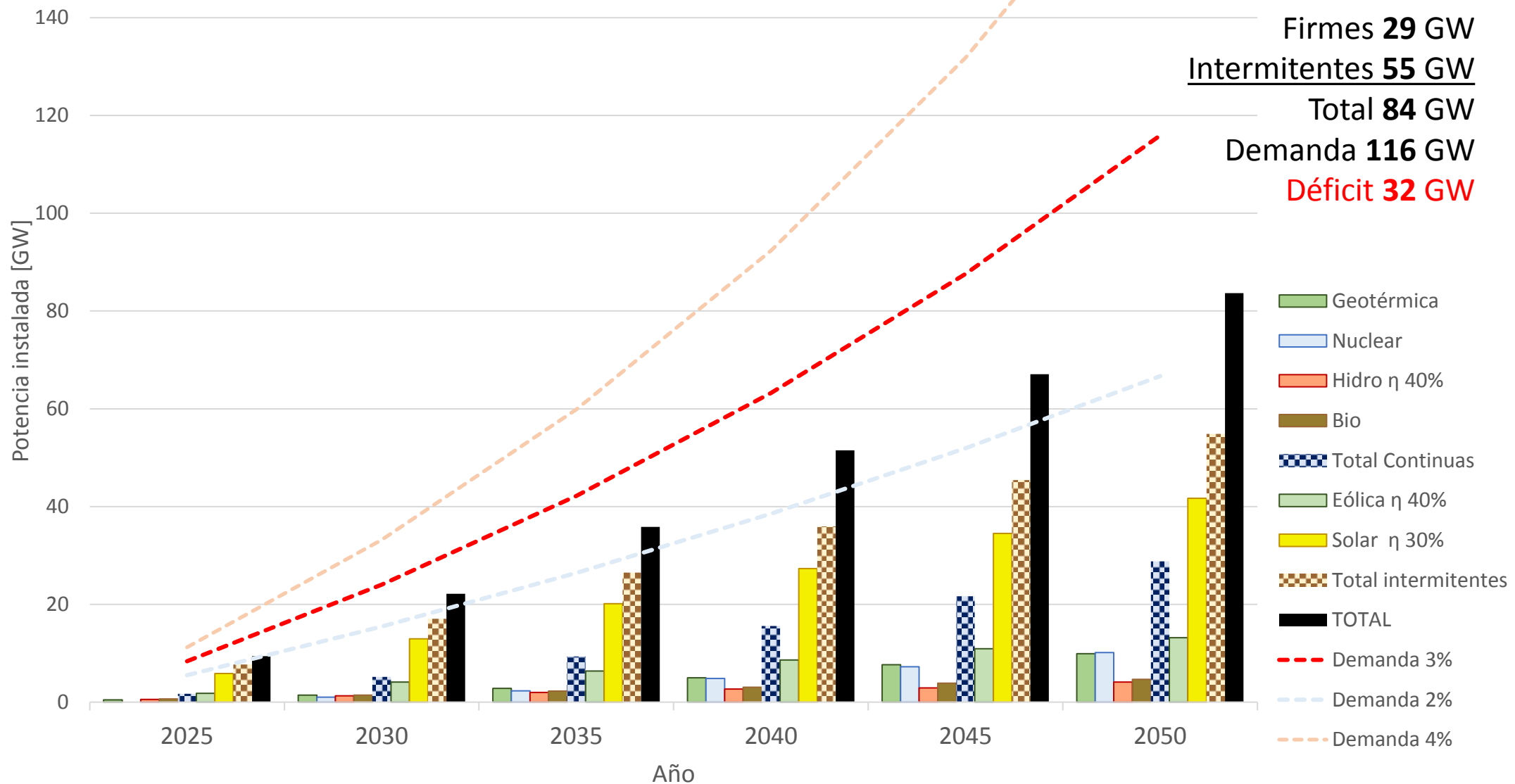
- a.- EGS con pozos secos: Pozos profundos con inyección de agua o CO₂
- b.- Temperatura Supercrítica (>375°C)
Pozos en zonas de muy alta temperatura (supercríticos)

Contribución máxima de las tecnologías limpias de generación a la matriz energética nacional

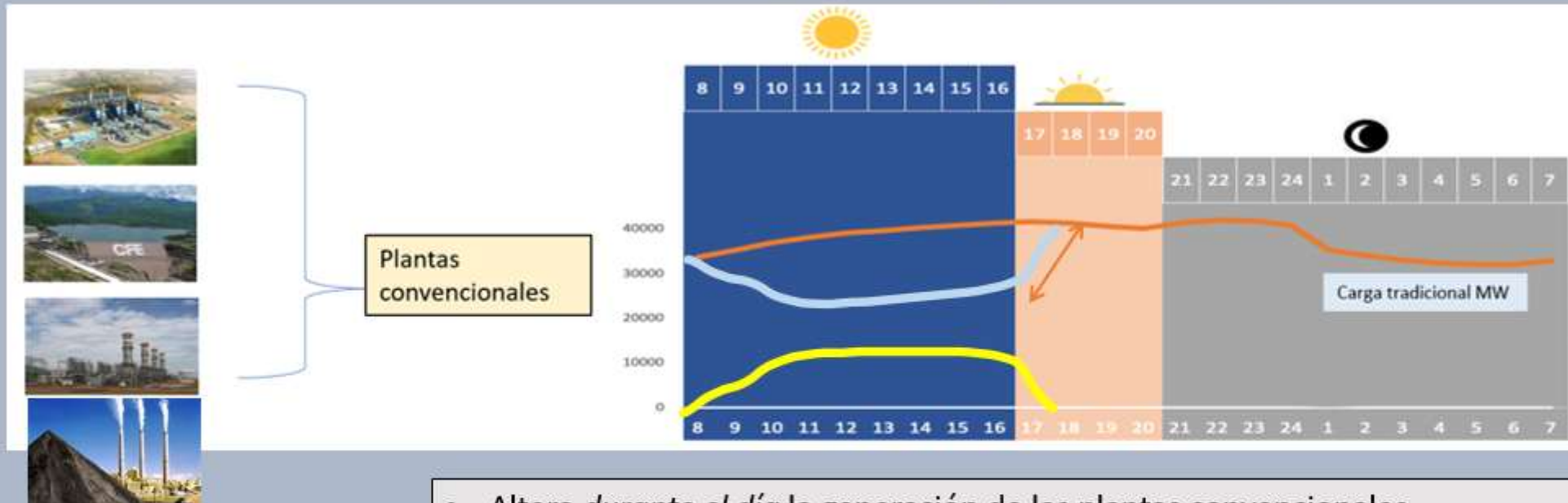








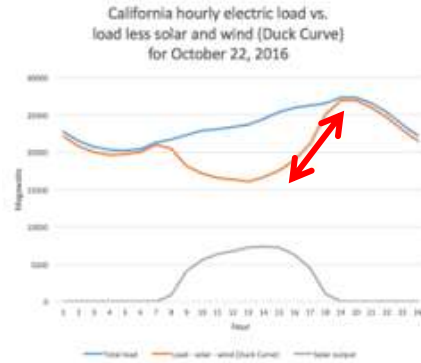
La energías intermitentes requieren atención Pero.... hay varios problemas que resolver



- Altera *durante el día* la generación de las plantas convencionales
- Aparece problema del “rampeo” xx MW/min
- Algunas que no pueden variar carga (Nuclear, otras)
- Regulan carga las Hidro, Gas, Diesel y Ciclo Combinado
- Si hay mucha generación solar, debe “regalarla” (curtailment)

Mostraremos las soluciones tecnológicas más usadas

“Algunos usos de Baterías que no alteran las emisiones de CO2”



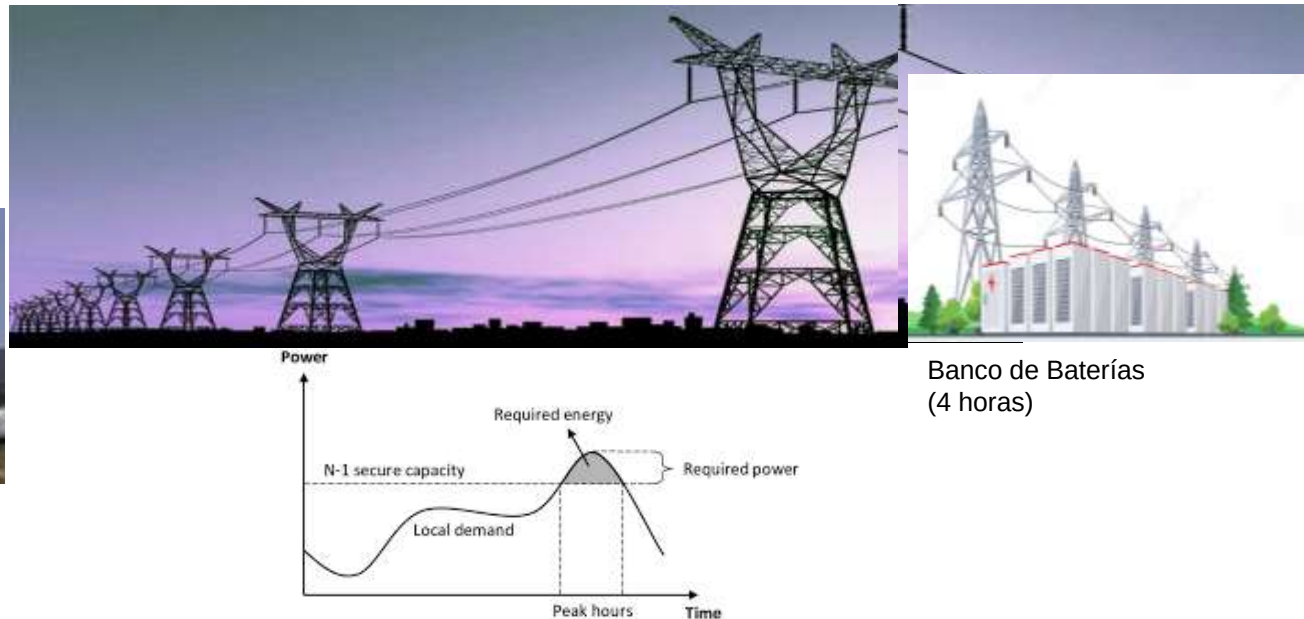
Potencia CC 1020 MW

Baterías (4 horas)
567 MW / 2,270 MWh

Ahora vende:
En el día 700 MW y
1587 MW en las 4
horas pico



Generación

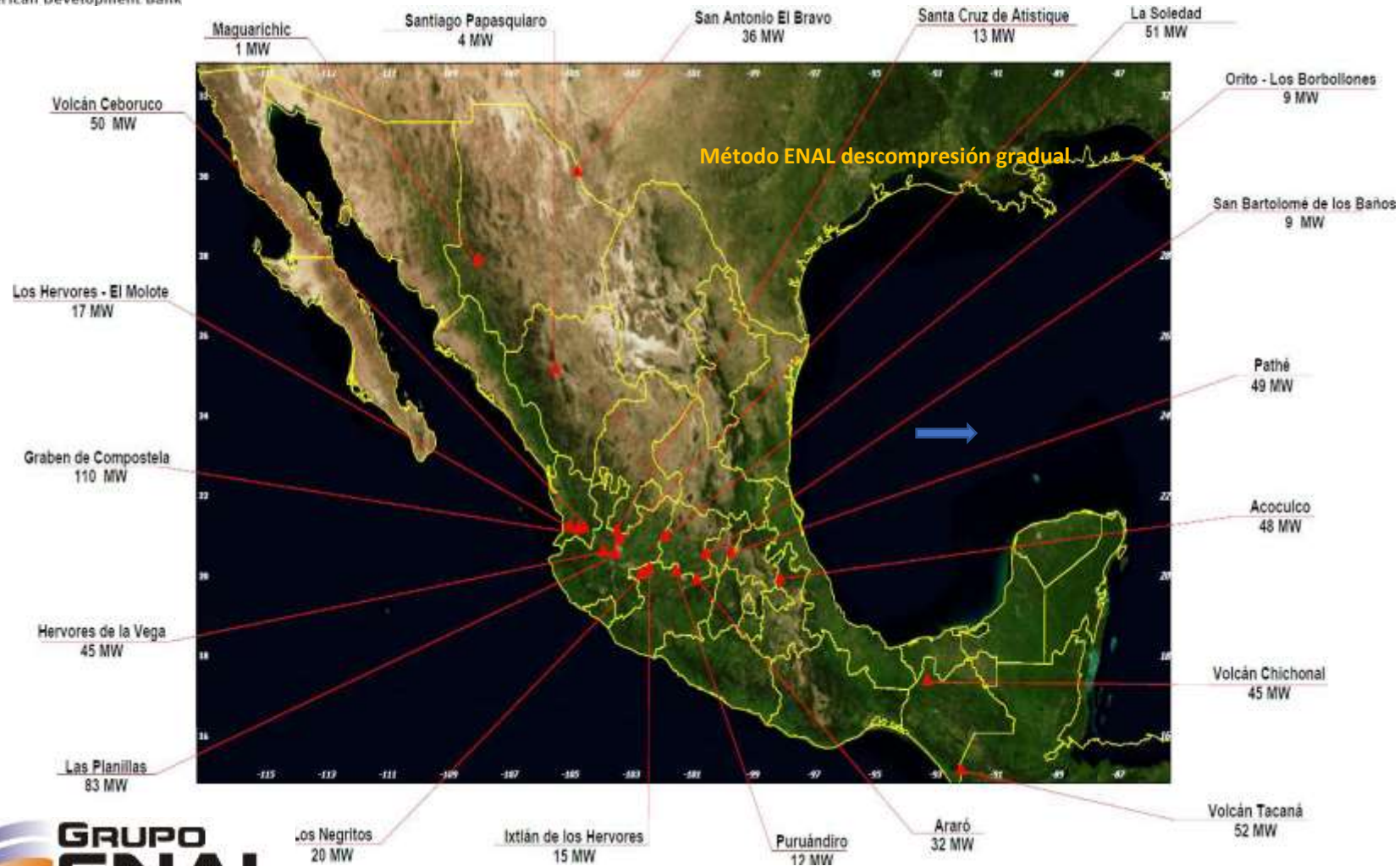


Banco de Baterías
(4 horas)



Gran Centro de Consumo

Zonas Geotérmicas Analizadas en este Informe



Muchas gracias....



ghiriart@geokeri.com

Perspectivas Energéticas



**EL COLEGIO
DE MÉXICO**

*Perspectivas de la geotermia
en México y el mundo*

El Colegio de México - Centro de Estudios Internacionales
Publicación Cuatrimestral del Programa de Energía
Año 6 Número 13 Enero - Mayo 2022

Editorial

Dr. Gerardo Hiriart L.

Análisis

Artículos

Colaboradores

Entrevistas

Dra. Marit Brommer
International Geothermal Association
(IGA)

Joseph Bonanfin
Turboden

Seguimiento a la política energética de México

*La Energía Geotérmica: futuro de las energías
limpias en México*

Ing. Magaly Flores Armenta

Situación y perspectivas de la energía geotérmica en América Latina y el Caribe

Ing. Luis C. A. Gutiérrez-Negrin

*Energía geotérmica en Japón,
pasado, presente y futuro*

Ing. Koichi Tagamori

Ing. Enrique M. Lima Lobato

*El Gran Rift de África Oriental:
Descubriendo su Potencial Geotérmico*

Mtra. Estefanny Dávalos Elizondo

Recomendaciones bibliográficas