



# La experiencia italiana en geotermia

**Guido Cappetti**

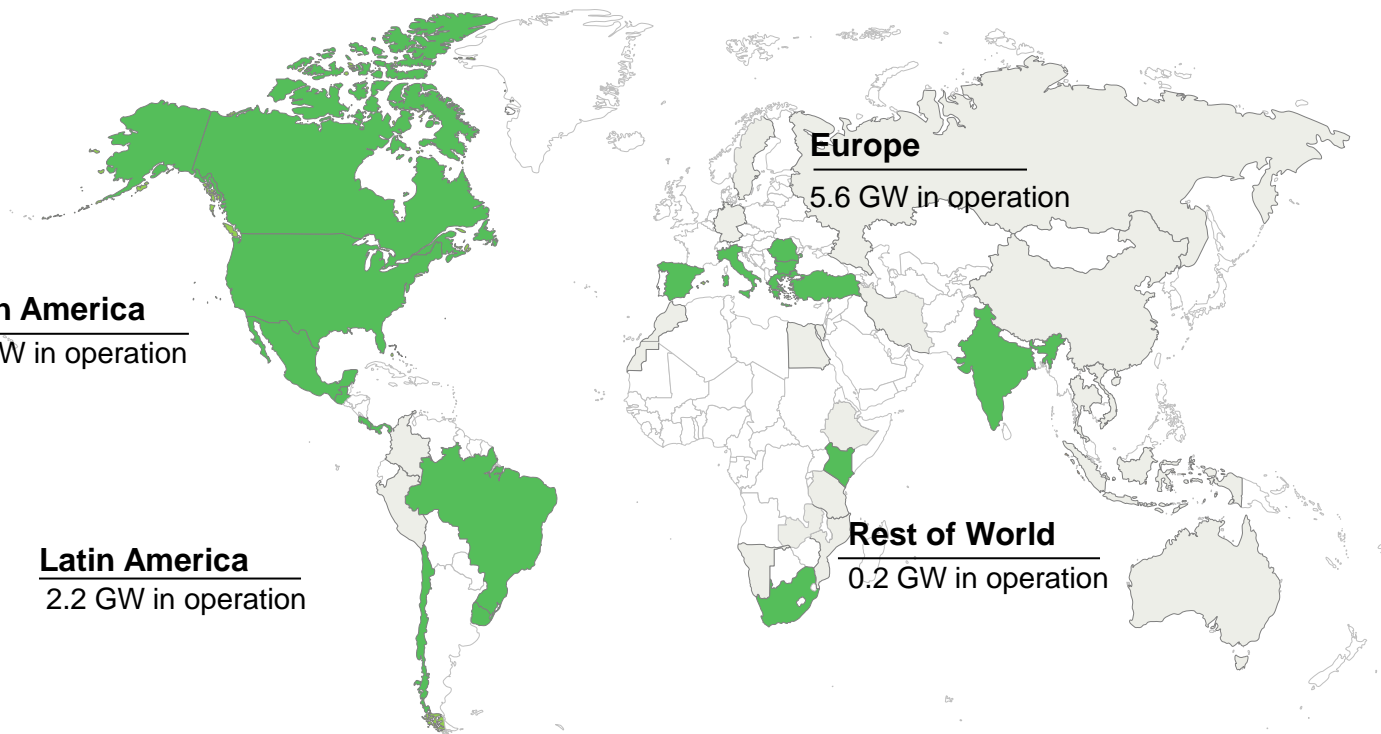
**Uruguay**

8 de Septiembre 2016



# Enel Green Power

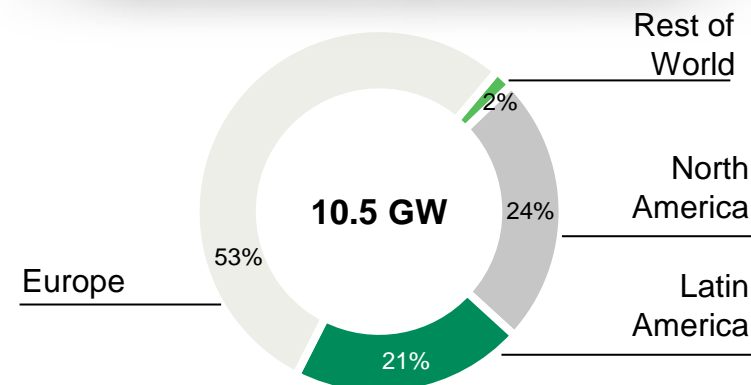
A global leader<sup>i</sup>



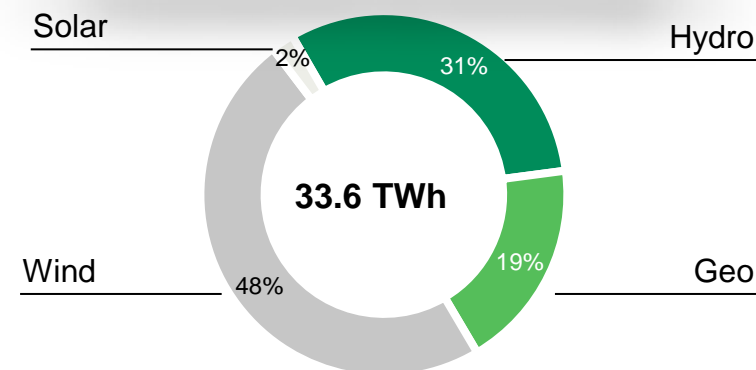
■ Countries of presence    ■ Countries of interest

**Growth target: + 7,7 GW en 2016-2019**

## Total installed capacity by area



## Net production by technology<sup>1</sup>



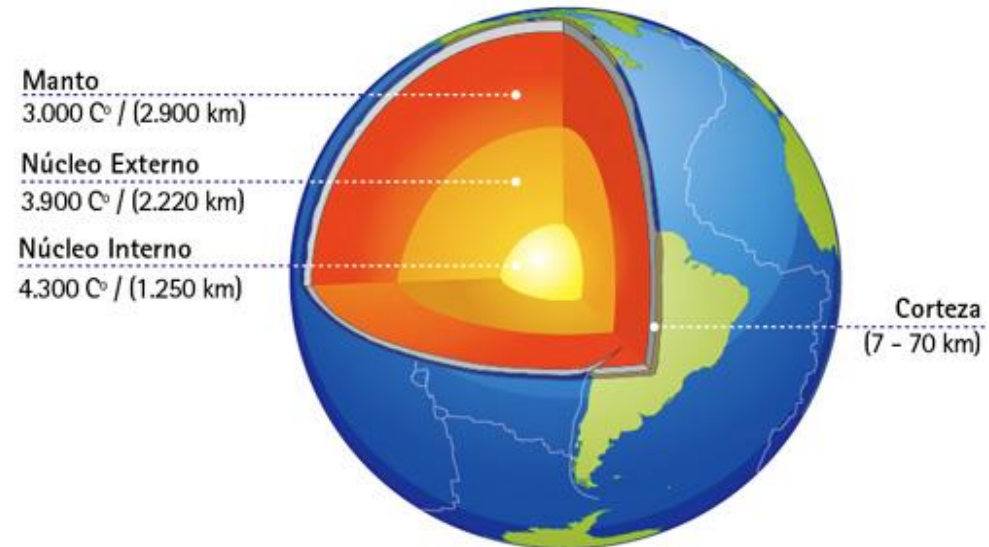
1. Includes 202 GWh of biomass

<sup>i</sup> Data as of 31 December 2015

- La Geotermia: conceptos básicos y tipología de plantas
  - - usos directos del calor geotérmico
  - - producción de energía eléctrica
- Desde 1913 → Cien años de producción geo termoeléctrica en Larderello
- El proyecto Cerro Pabellón en Chile

# Qué es la Geotermia?

- La palabra **geotermia** significa “calor de la tierra”.
- **Energía térmica:** es la energía contenida en las rocas y que se puede transformar en *energía eléctrica* mediante una planta geotérmica.



- **El fluido geotérmico** es el medio mediante el cual este proceso de transformación de energía se cumple: se extrae mediante pozos productores y se devuelve al reservorio mediante pozos reinyectores.
- Para que un recurso geotérmico sea **industrialmente utilizable**, es necesario que una gran cantidad de energía térmica sea almacenada en rocas permeables y cercanas a la superficie (1-3 km).
- Los **recursos geotérmicos** se encuentran disponibles solamente en algunos lugares del planeta.

# Geotermia

## Manifestaciones termales



Fumarola



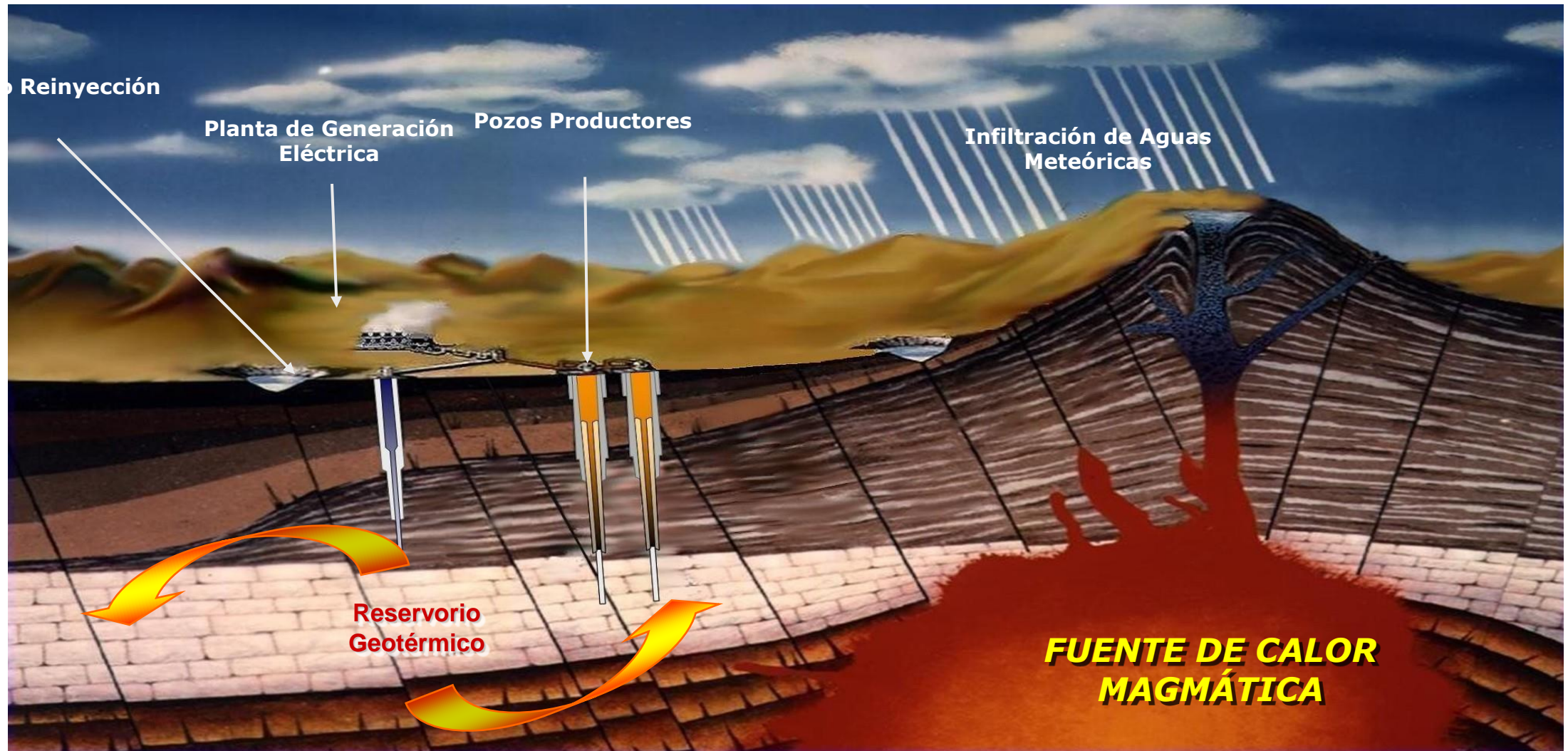
Solfatares



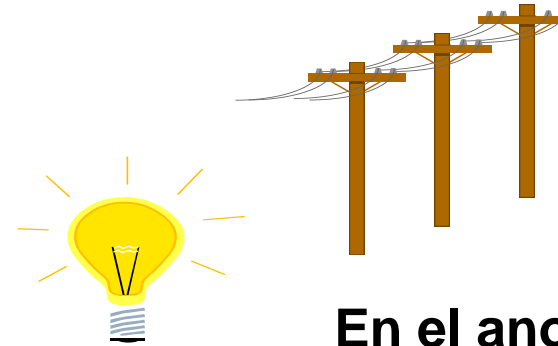
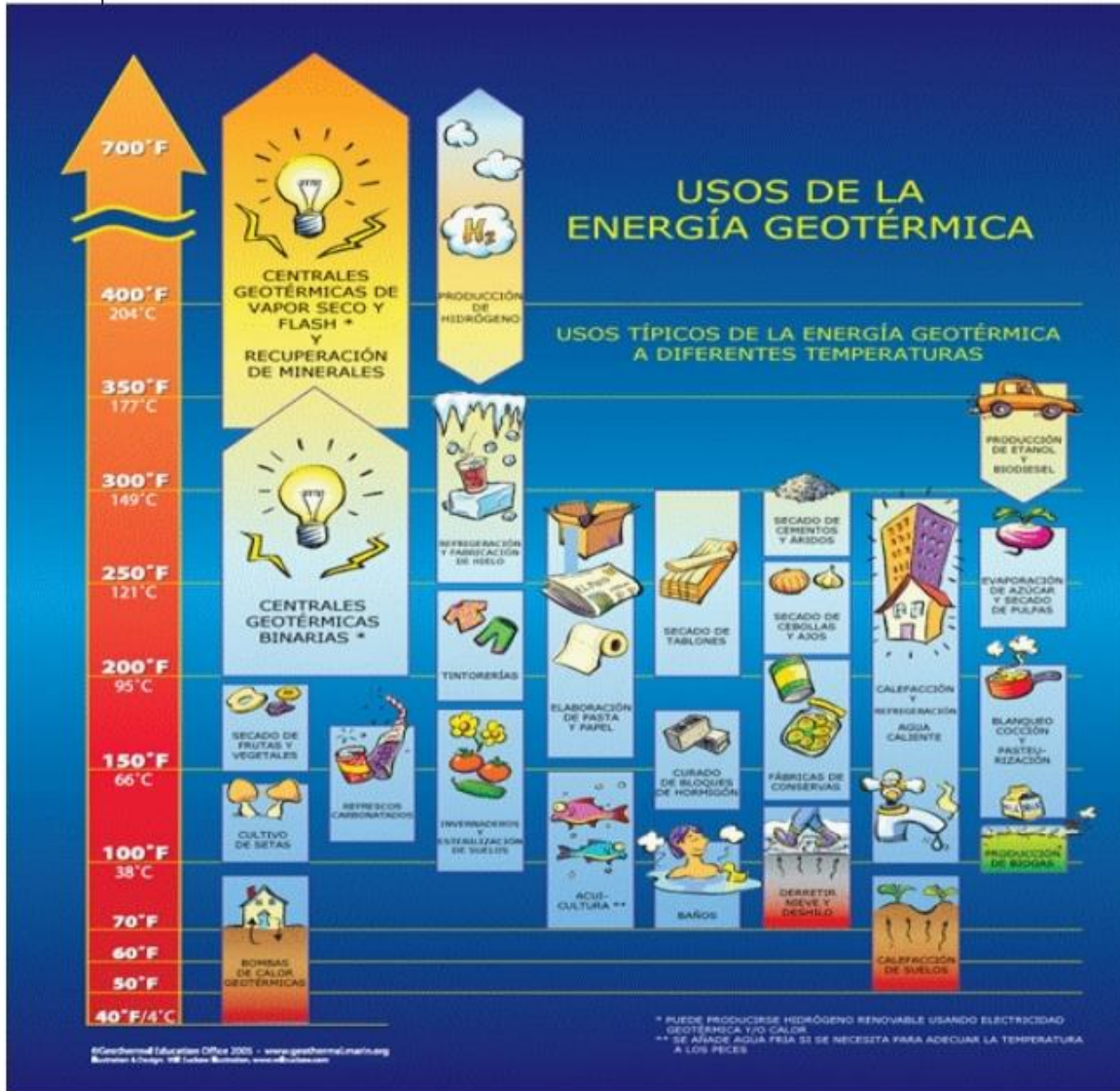
Géiser

Las manifestaciones termales son la primera evidencia de un sistema geotérmico

# Esquema de un sistema geotérmico



# Usos de la energía geotérmica



En el año 2015 en el mundo:

- 73.549 GWh producción eléctrica en 24 países
- 163.273 GWh\* usos térmicos en 82 países

(\* 587.786 TJ/año)



Figura 2.4. Usos de la energía geotérmica. (Fuente: Will Suckow Illustration. ©Geothermal Education Office 2005).

# Usos ancestrales





# Usos balneológicos/balneotherapicos



# Usos directos del calor

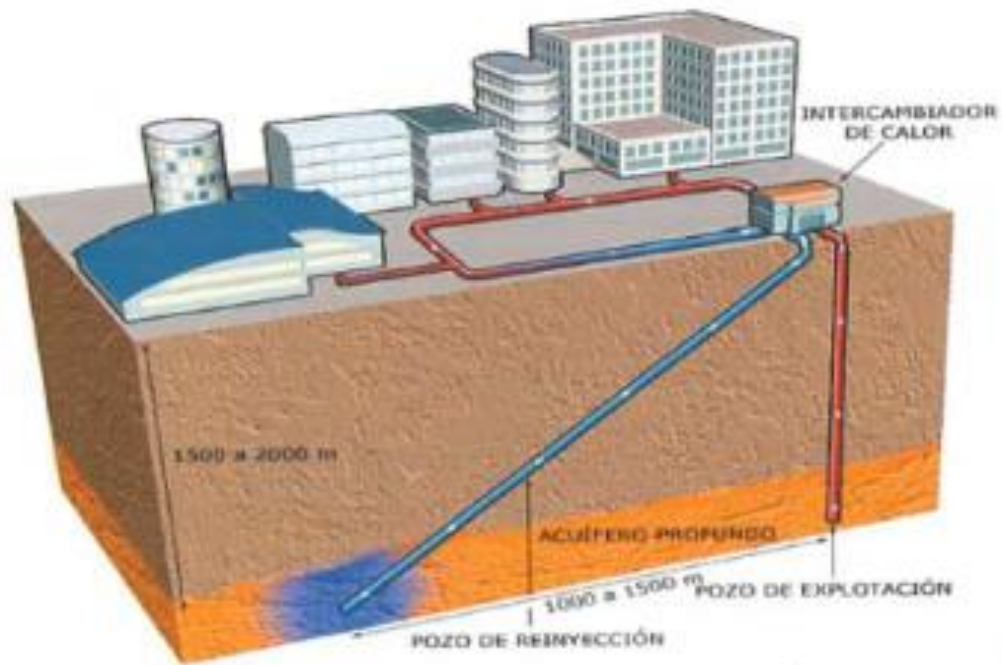


Invernaderos

Acuicultura



# Usos para calentamiento/condicionamiento



# La geotermia puede cambiar la cara del mundo.....

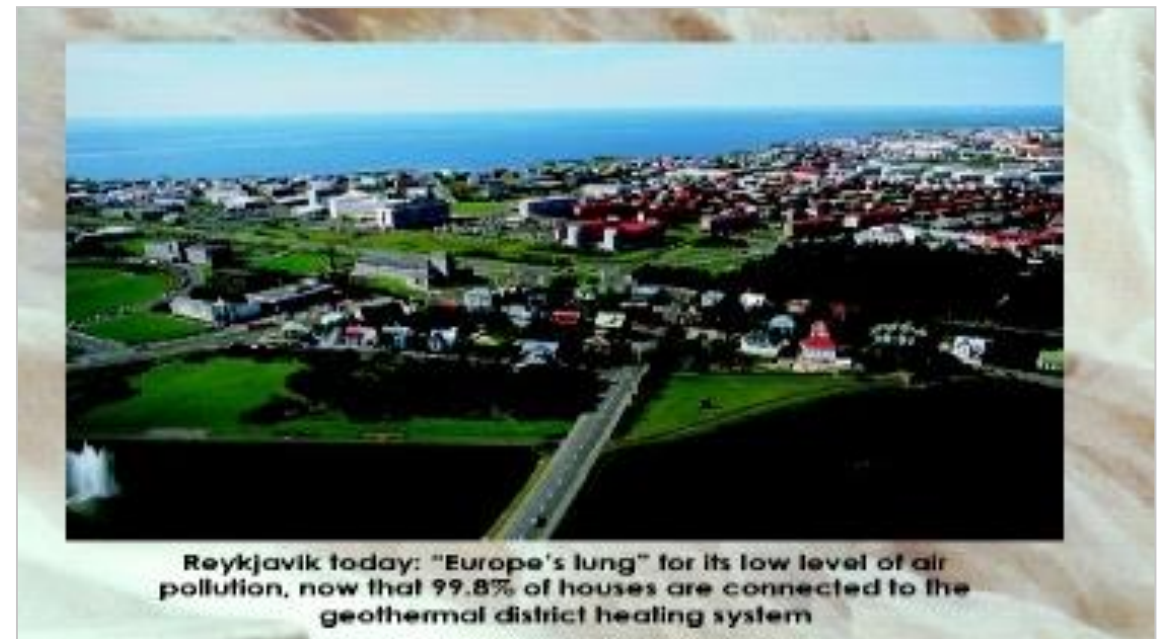


## Reykjavik en 1933.

El uso del carbón para el calentamiento de las viviendas era predominante

## Reykjavik en 2010.

El 99.8% de las viviendas son calentadas por uso directo del calor geotérmico

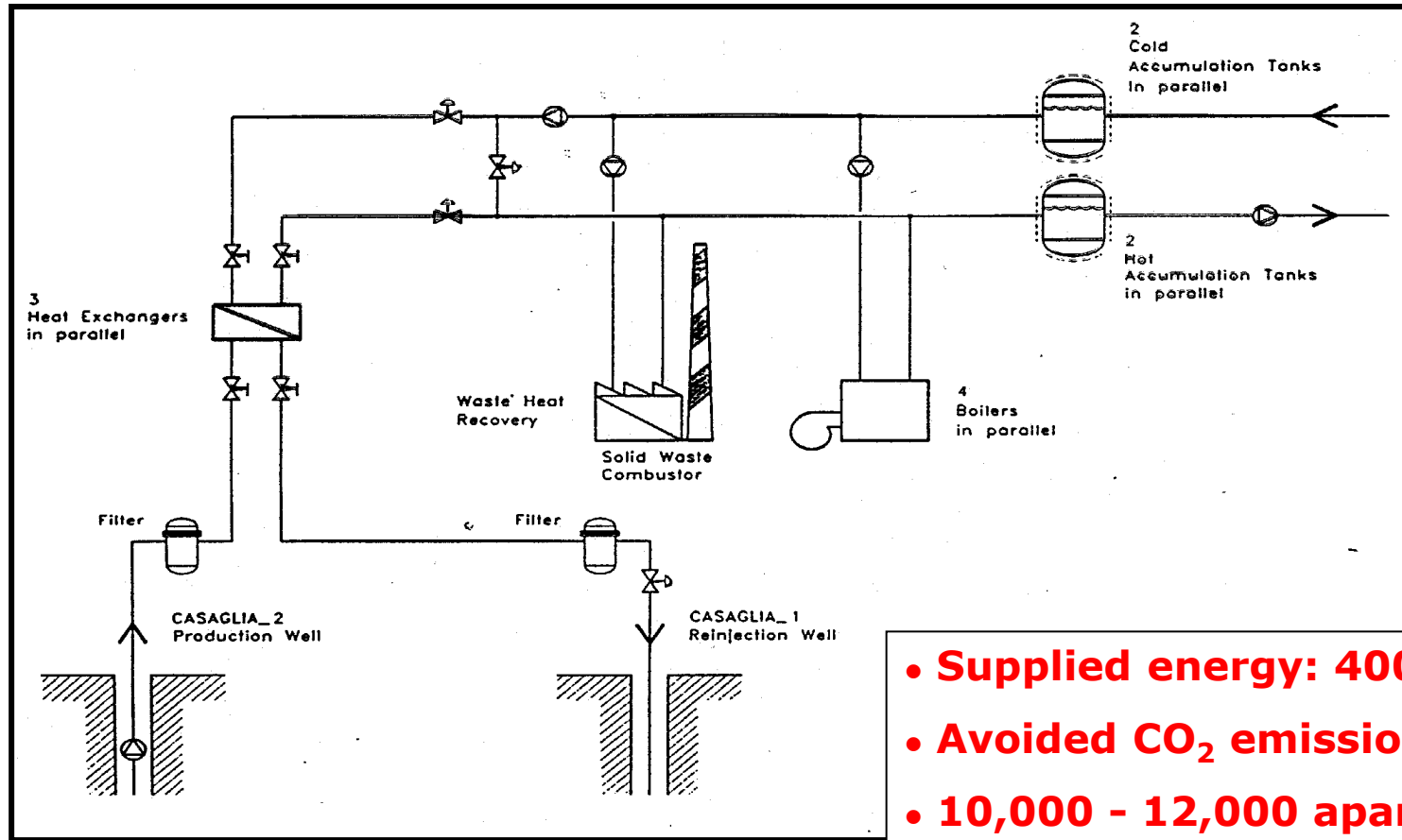


La geotermia puede cambiar la cara del mundo.....



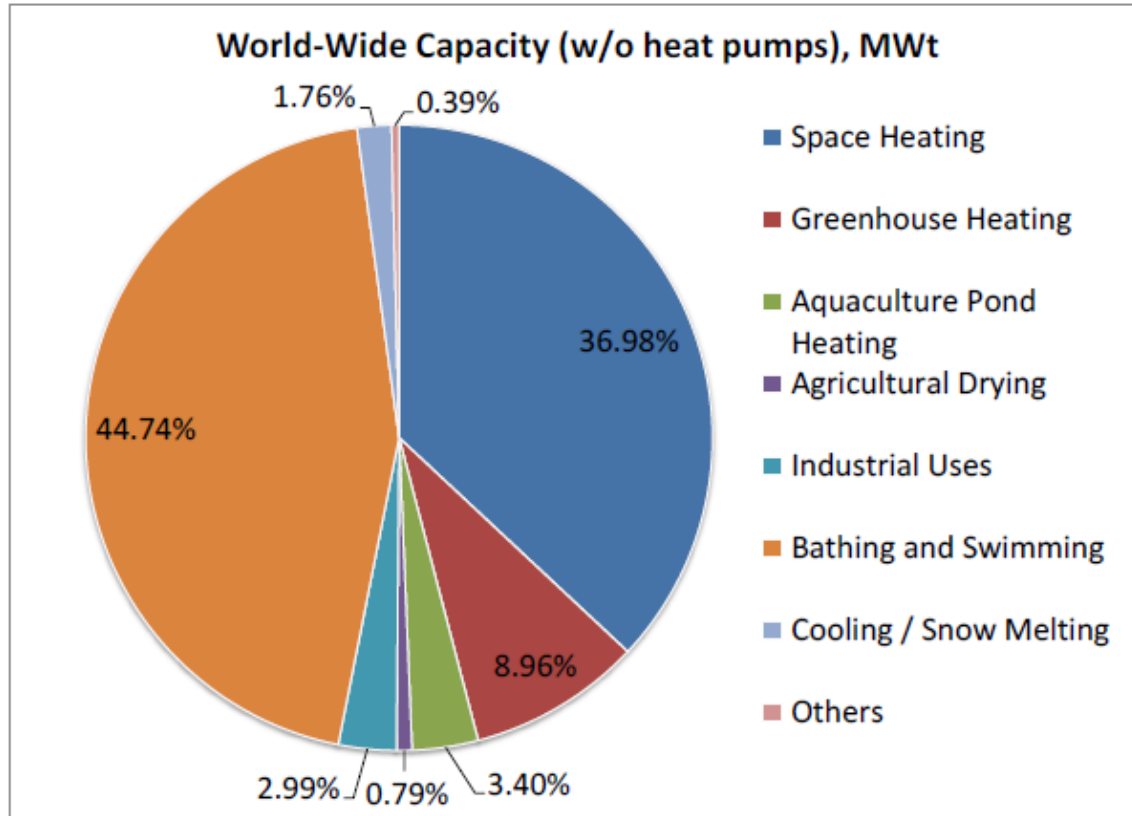
**Reykjavik hoy día**

# Planta de calentamiento en la ciudad de Ferrara Italia

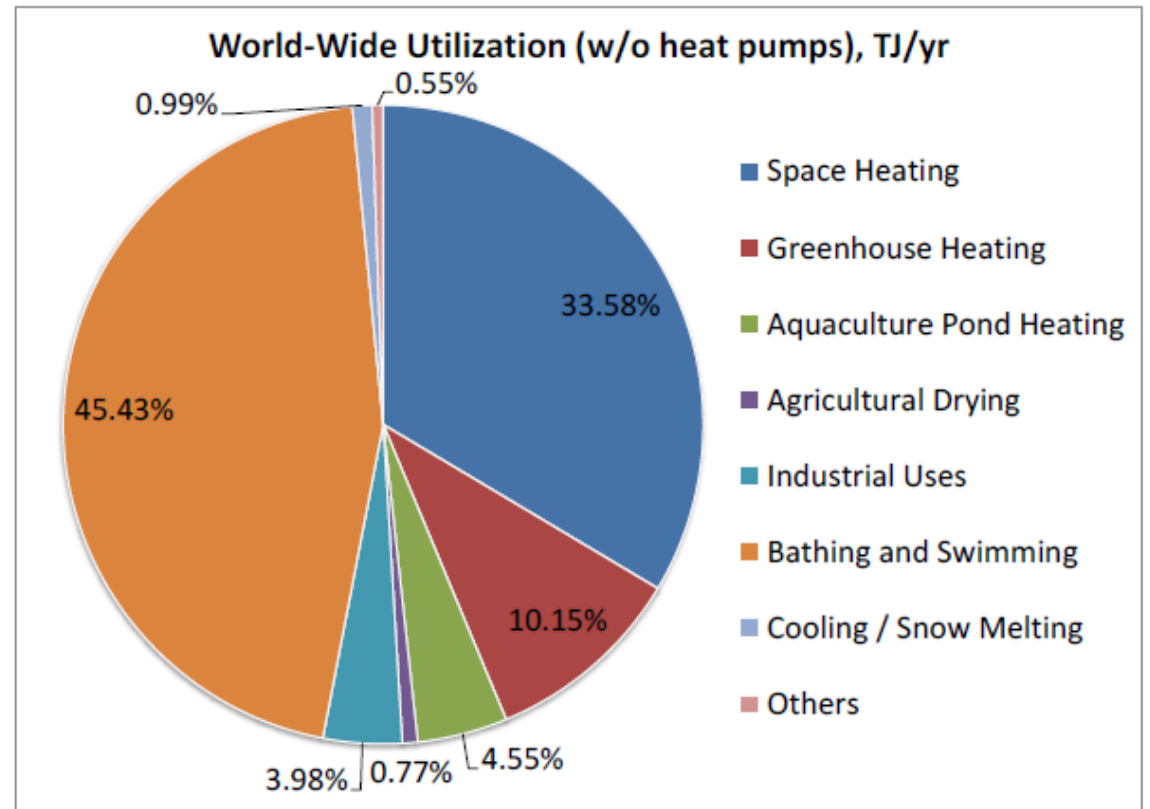


- Supplied energy: 400 TJ/yr  $\Rightarrow$   $\sim$  10,000 OET/yr
- Avoided CO<sub>2</sub> emission  $\Rightarrow$  30,000 tons/yr
- 10,000 - 12,000 apartments heated

# Usos directos en el mundo



49.800 MWt



325.045 TJ/y

# Temas



- La Geotermia: conceptos básicos y tipología de plantas
  - - usos directos del calor geotérmico
  - - producción de energía eléctrica
- Desde 1913 → Cien años de producción geo termoeléctrica en Larderello
- El proyecto Cerro Pabellón en Chile



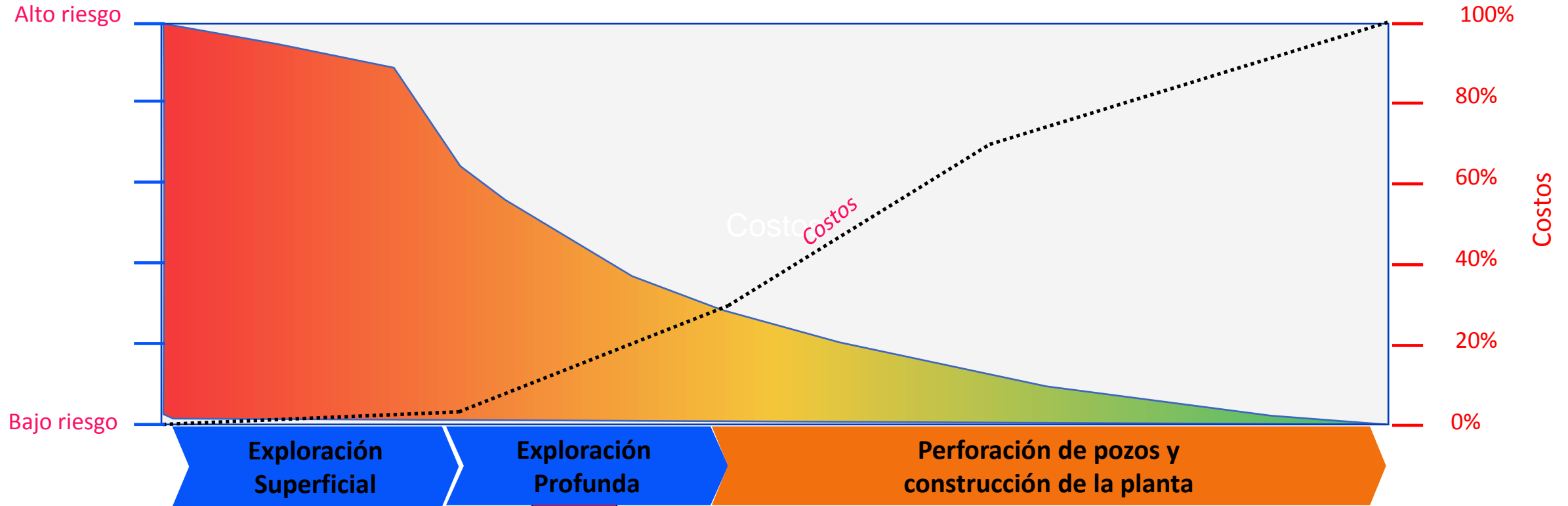
# Etapas de un Proyecto Geotérmico



**Amplio *range* de competencias y tiempos medianamente largos**

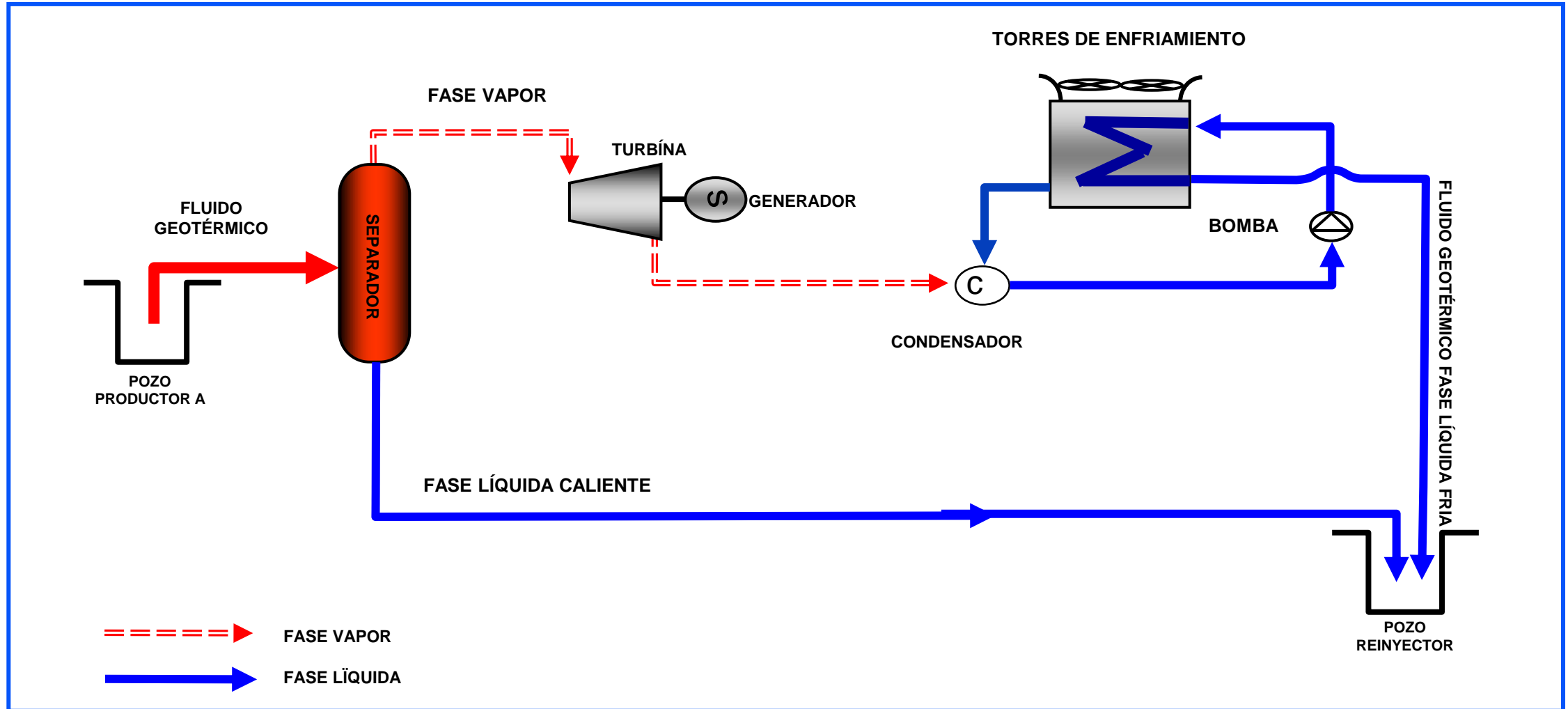
# Etapas de un Proyecto Geotérmico

## Los Costos Vs Los Riesgos

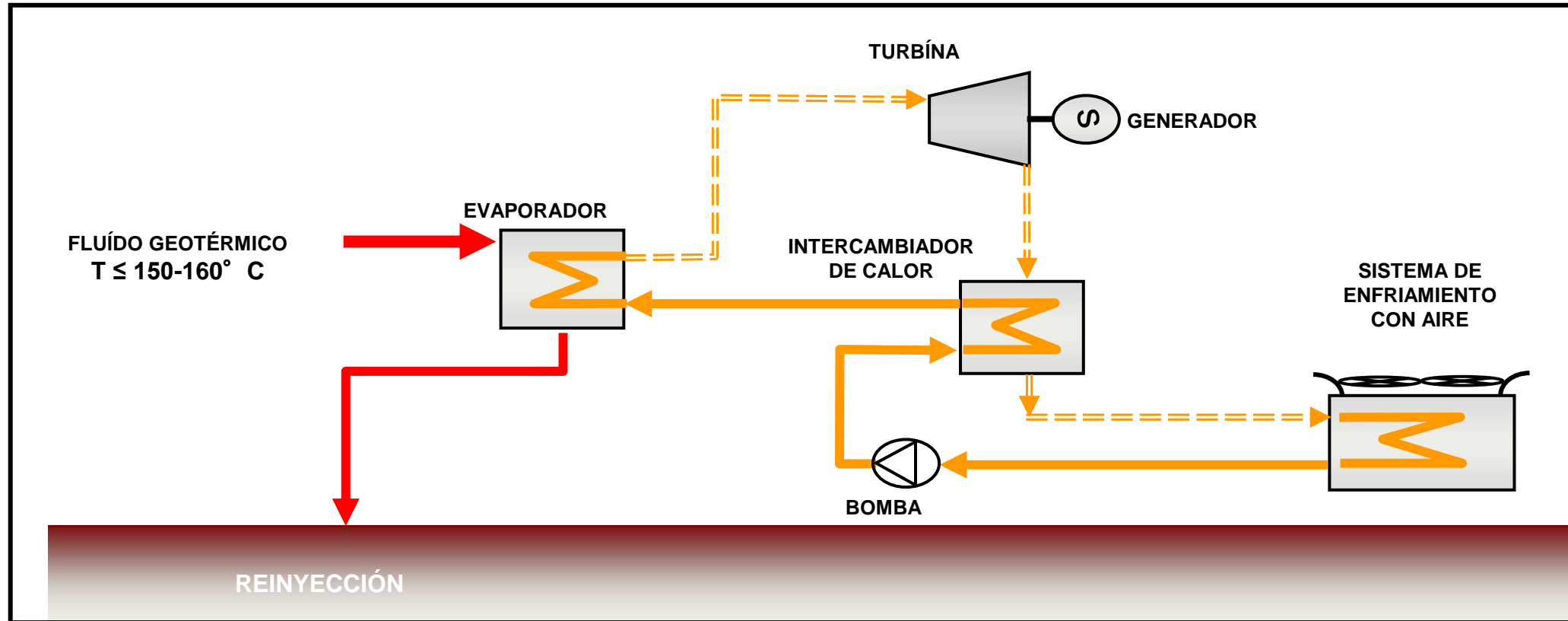


**CRITICIDAD:**  
Altos riesgos y  
fuerte aumentos de los costos

# Planta a condensación



# Planta Binaria (Organic Ranking Cycle)



— Fluido orgánico (isobutano/isopentano/otros)

# Planta ORC de Stillwater (NV-USA)



# Planta ORC de Stillwater (NV-USA)



**33 MWnetos geo**

**26 MWe solar PV**

**2.5 MWe solar CSP\***

\* 17 MWt

# AKGA: Planta binaria en operación en Turquía



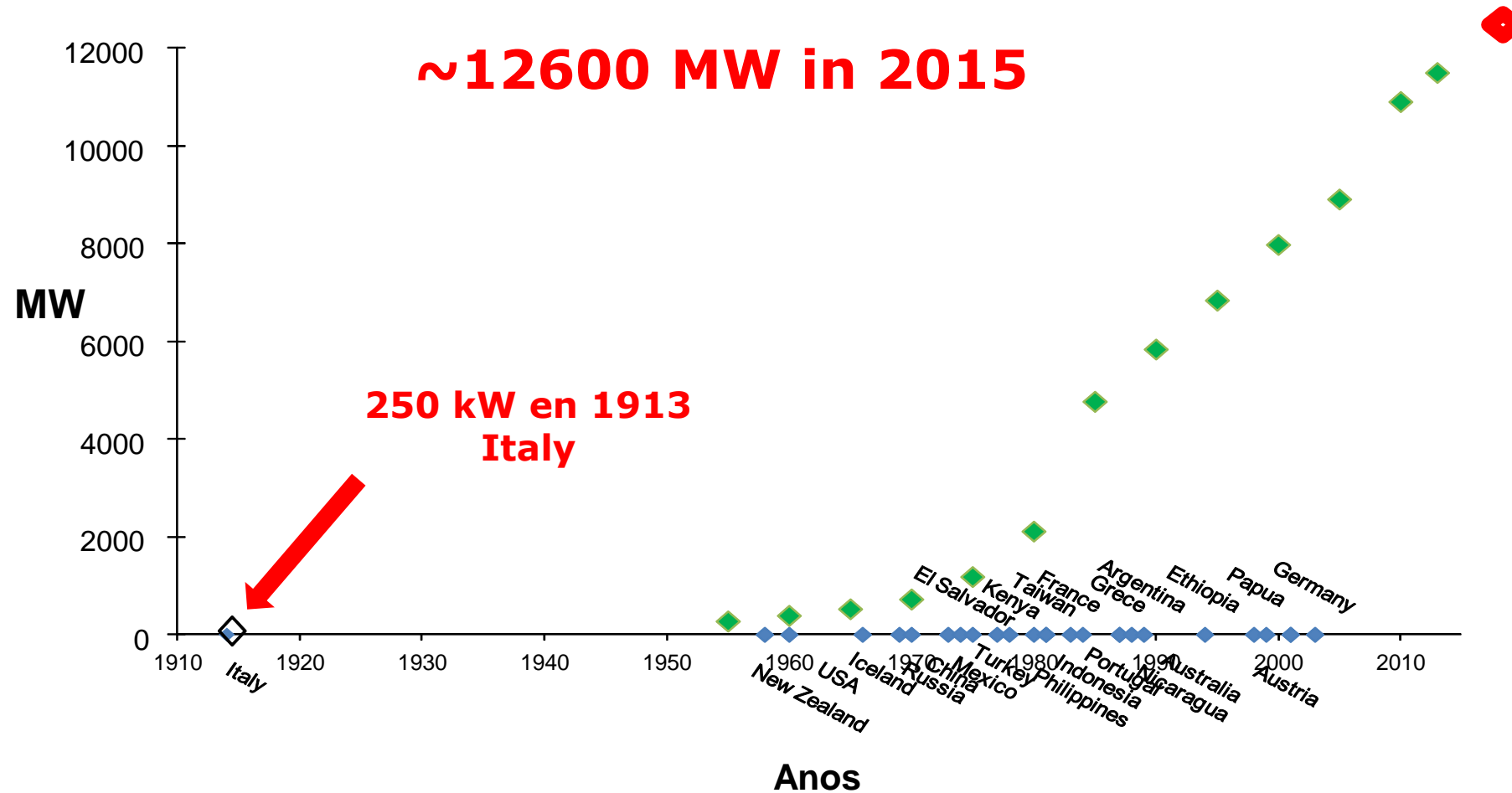
Planta de baja entalpia construida por la sociedad italiana EXERGY

- 4 MW de potencia
- Temperatura del fluido geotérmico: **104 °C**
- Sistema de enfriamiento con agua de un rio con temperatura de ~10°C





# Incremento de la potencia instalada en el mundo



# La potencia instalada en el mundo



En el 2015 existen 24 países productores de energía geotérmicas  
Potencia total instalada alrededor de 12.600 MW

(10800 MW Plantas a Condensación y 1800 MW Plantas Binarias)

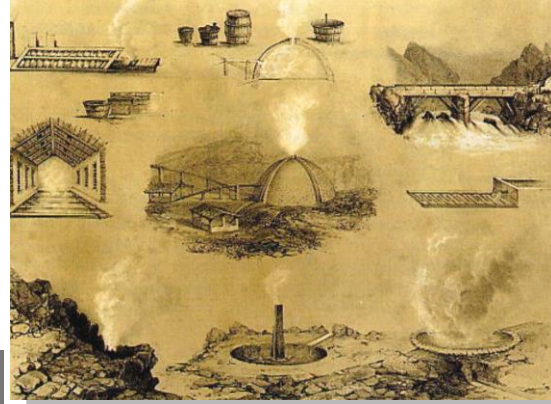
# Temas



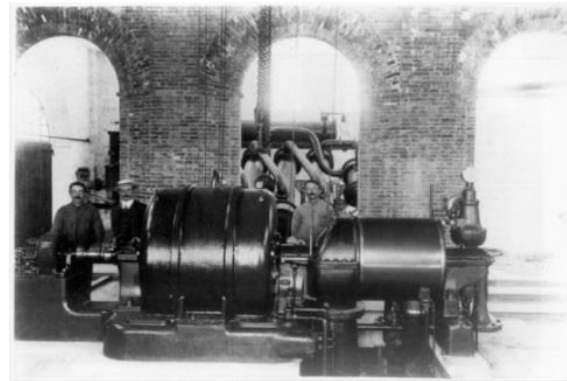
- La Geotermia: conceptos básicos y tipología de plantas
- Desde 1913 → Cien años de producción geo termoeléctrica en Larderello
- El proyecto Cerro Pabellón en Chile

# Larderello

## El desarrollo inicial de la industria geotérmica



**1904**

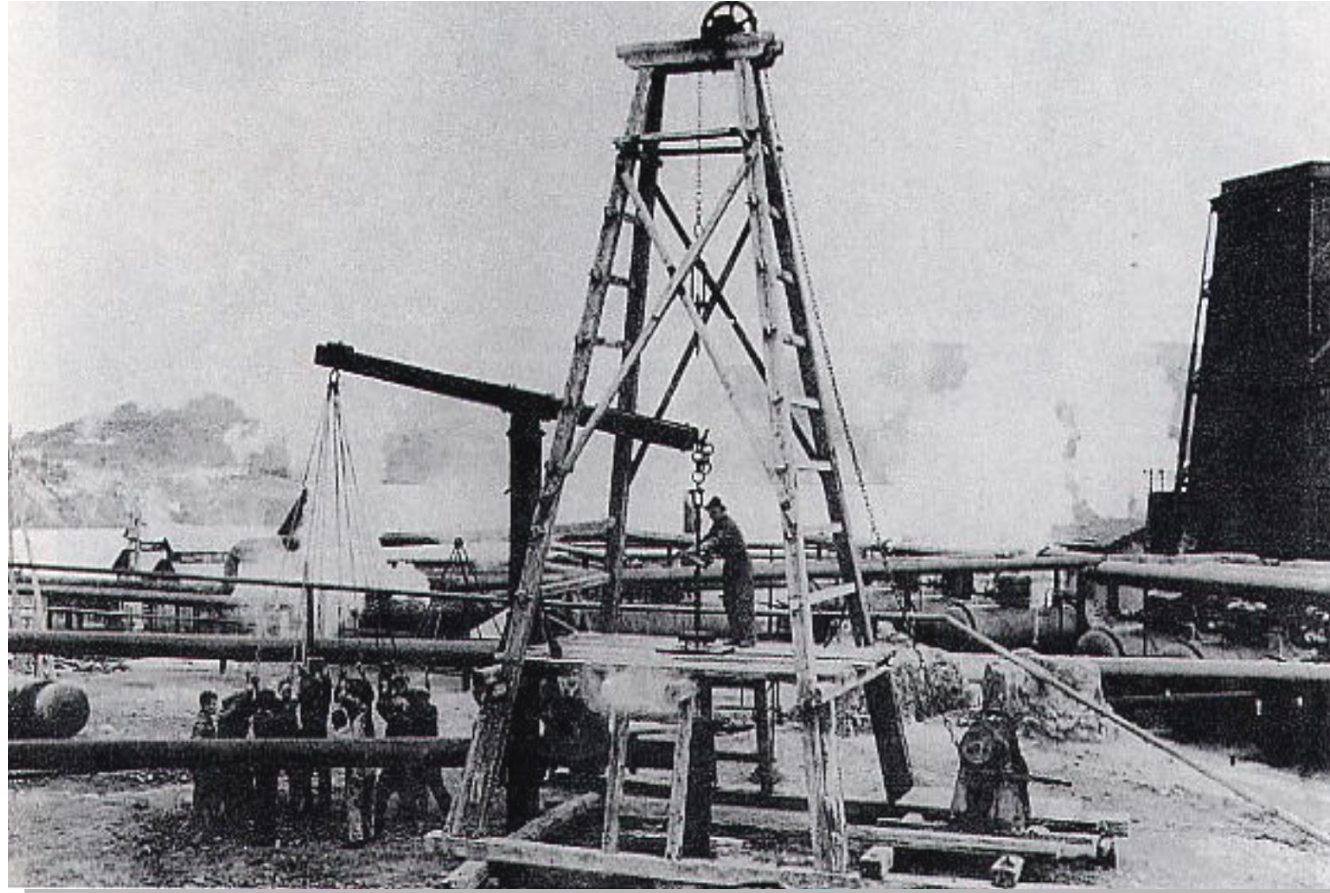


**1913**

- **1778:** se descubre la presencia de ácido bórico en las manifestaciones superficiales
- **1812:** inicio de la industria química con producción de ácido bórico y sus derivados
- **1904:** el primer experimento en el mundo de producción de energía eléctrica con vapor geotérmico.
- **1913:** primera planta de 250 kW en operación
- **1958:** Hasta este año Italia fue el único país al mundo que había desarrollado la tecnología geotérmica, produciendo 2 billones kWh/año.

# Larderello

El lugar donde nació la industria geotérmica



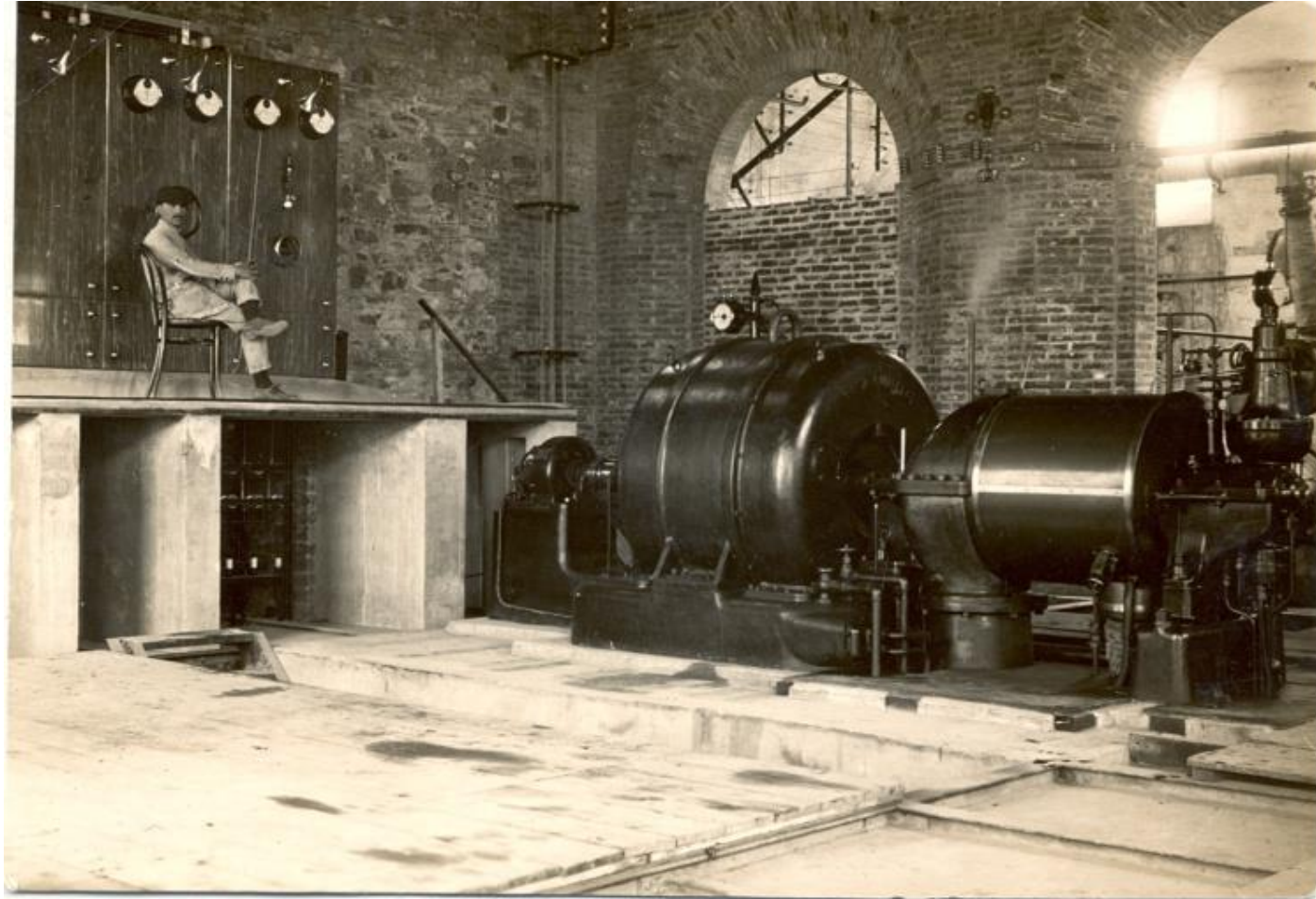
...segunda mitad del 1800....

# Larderello



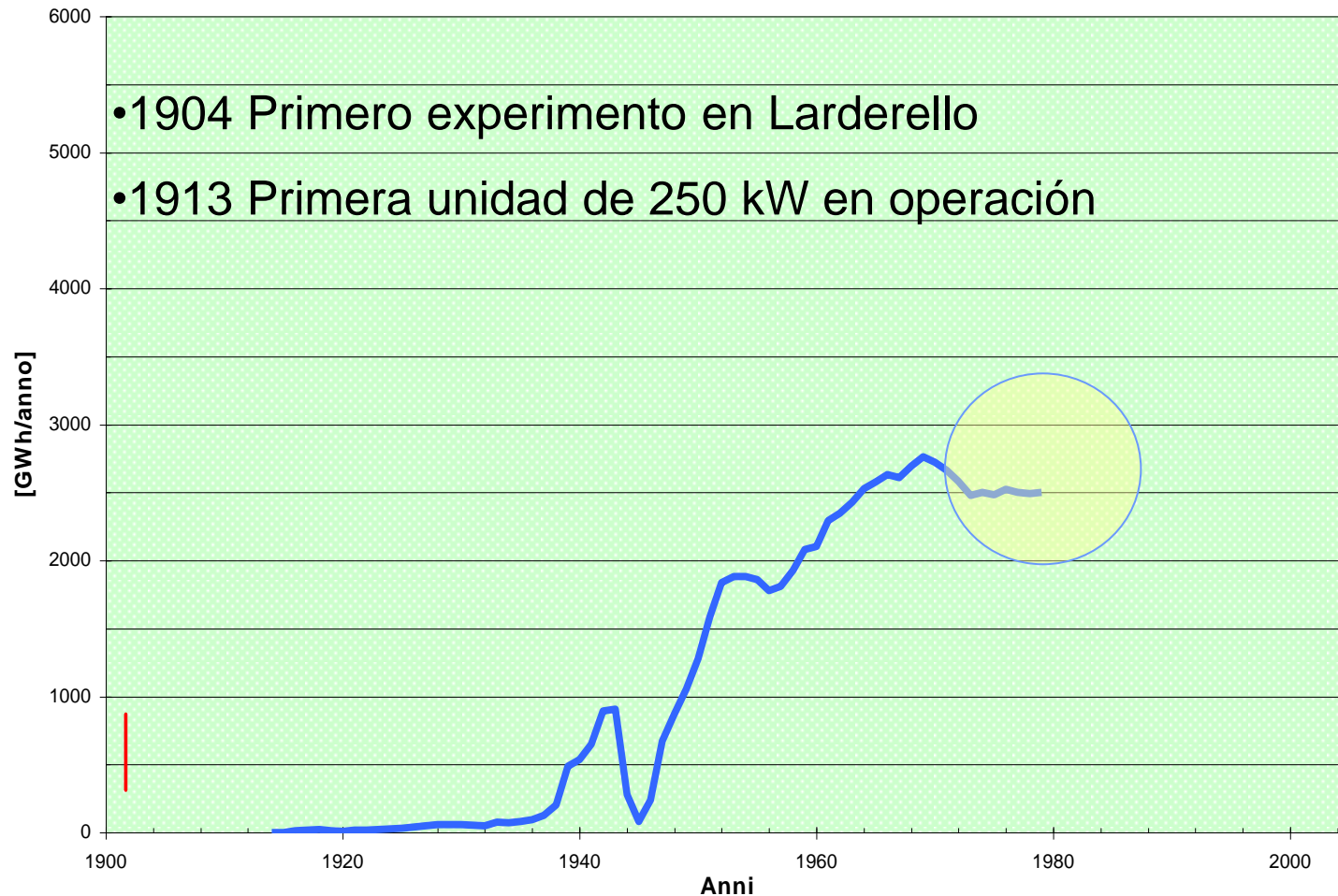
... primeros años del 1900 ...

# Larderello



1913: primera unidad de 250 kW

# El incremento de la producción geotérmica hasta el final de los '70s



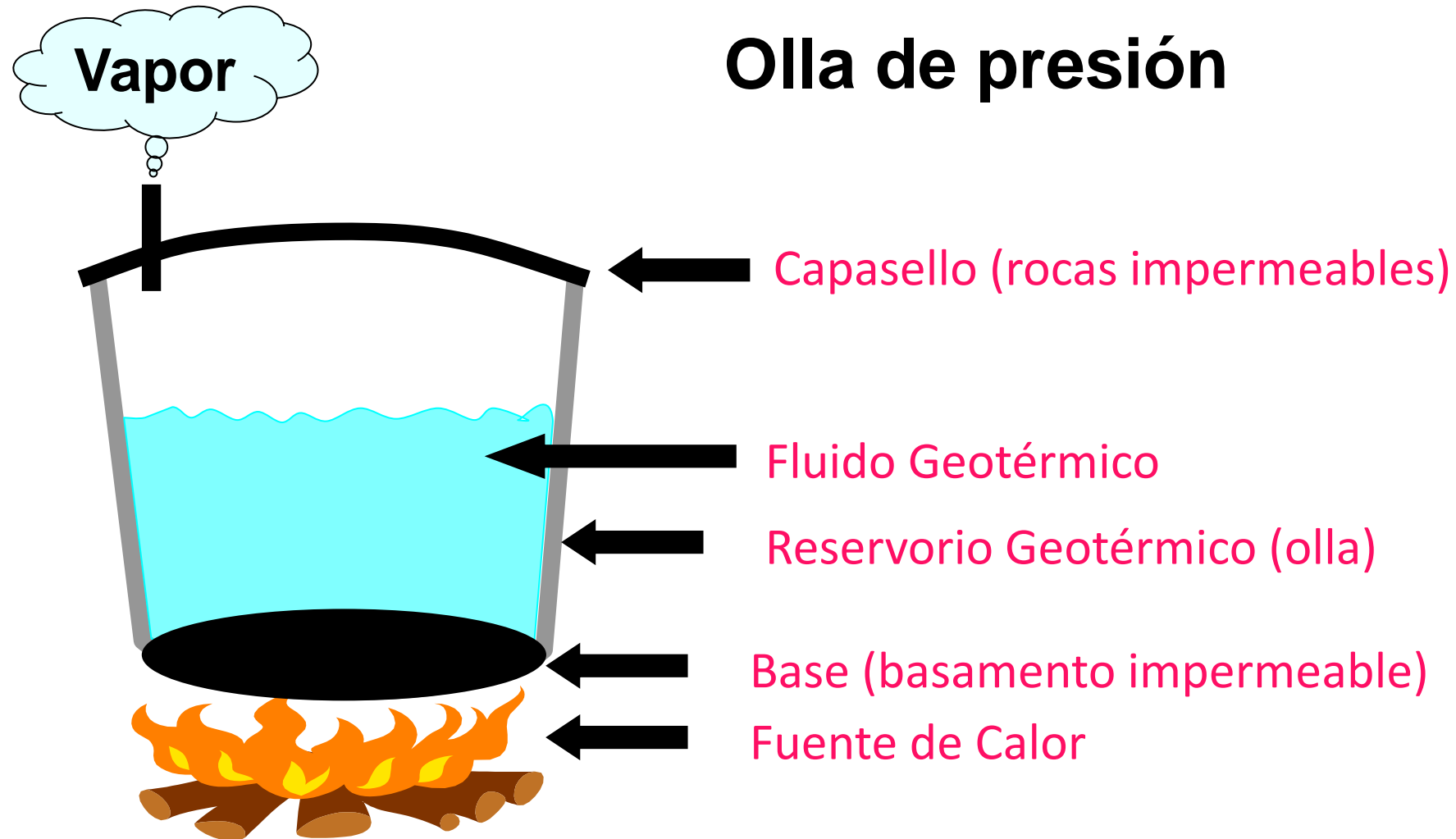
- Desarrollo del reservorio carbonatico superficial con pozos aproximadamente hasta 1000 m de profundidad

- Principio de los '70 se evidencio' una progresiva disminucion en la produccion y se puse el tema de la "sostenibilidad"

***Estrategia de explotación***

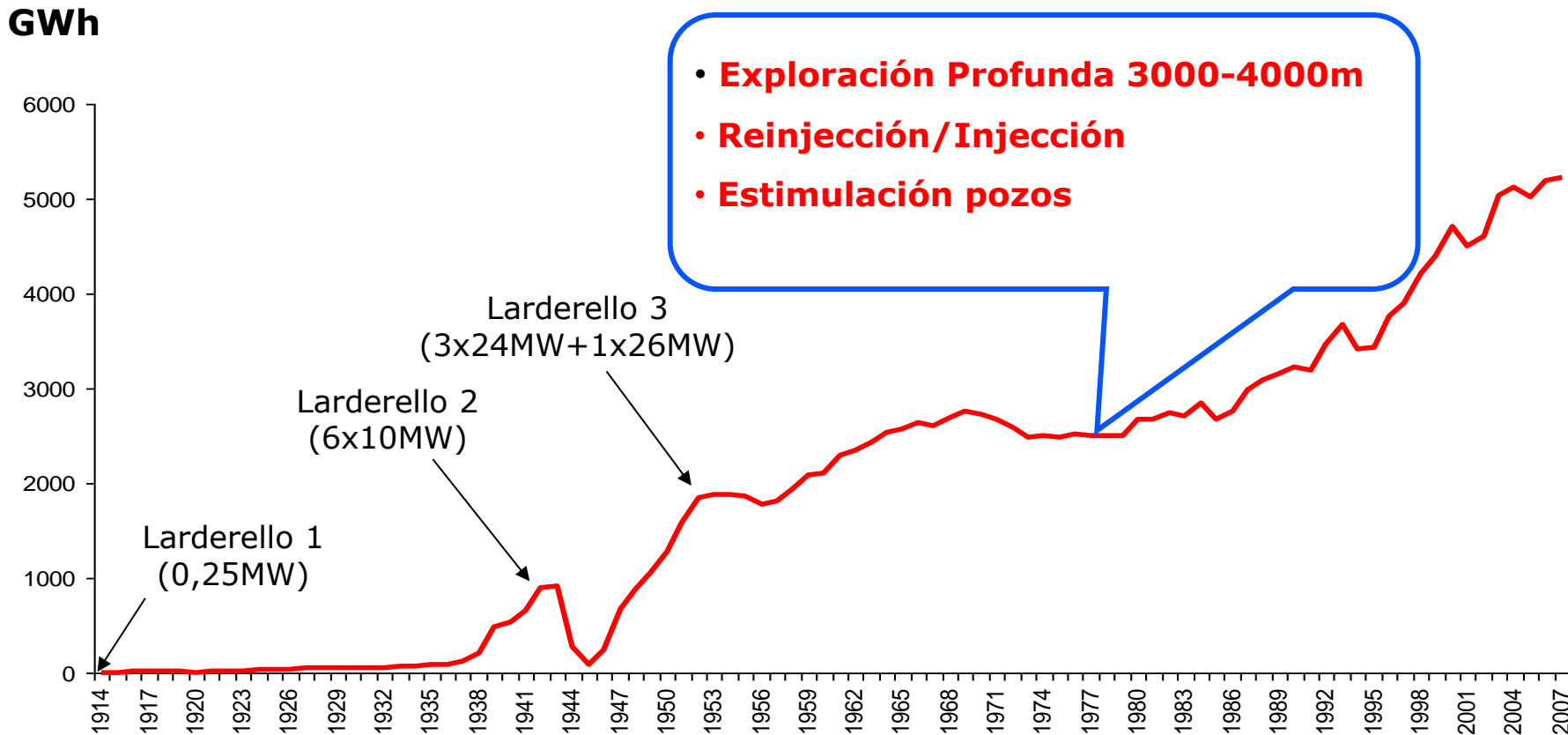


# Modelo sencillo del recurso geotérmico

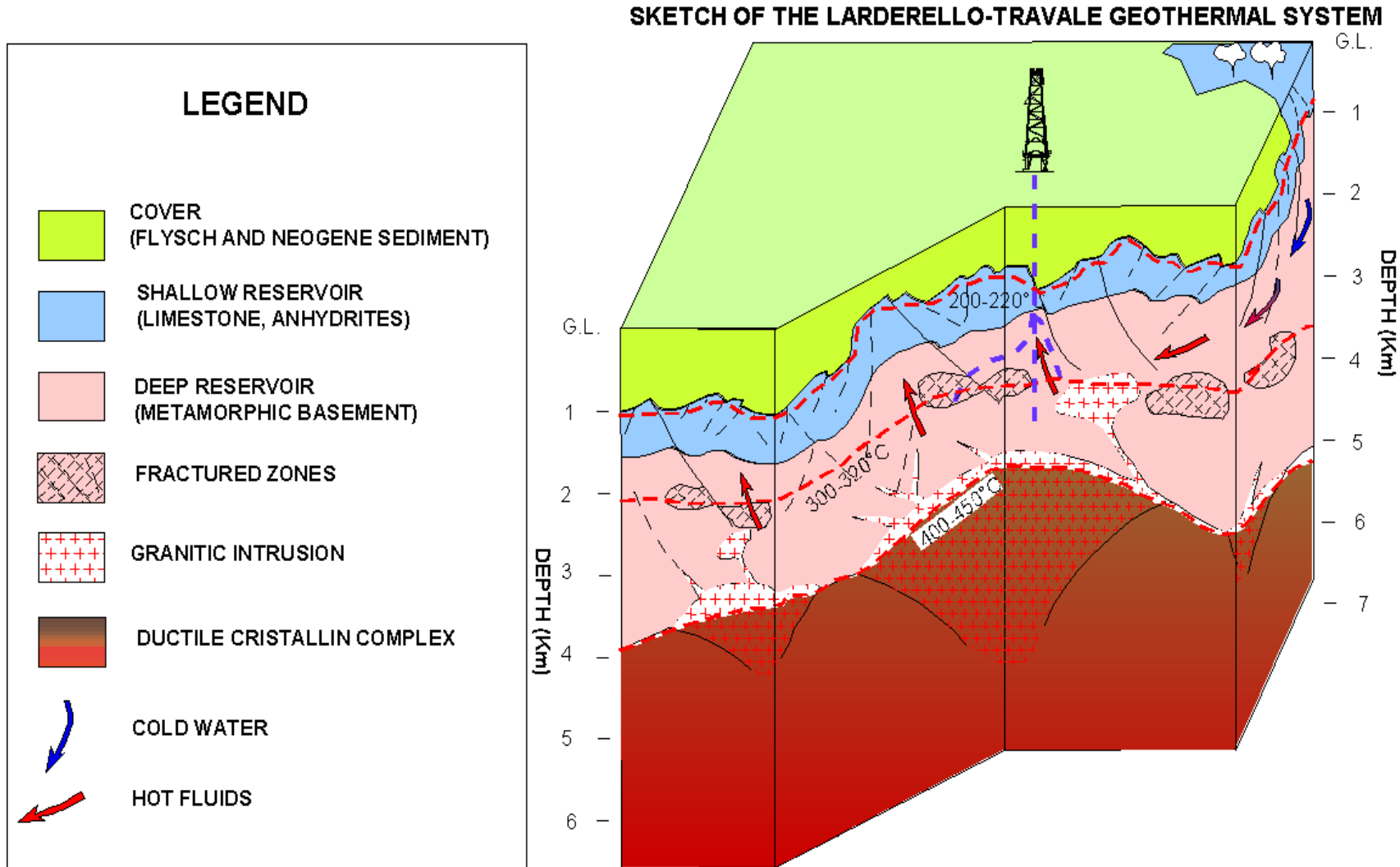


# El programa de R&D

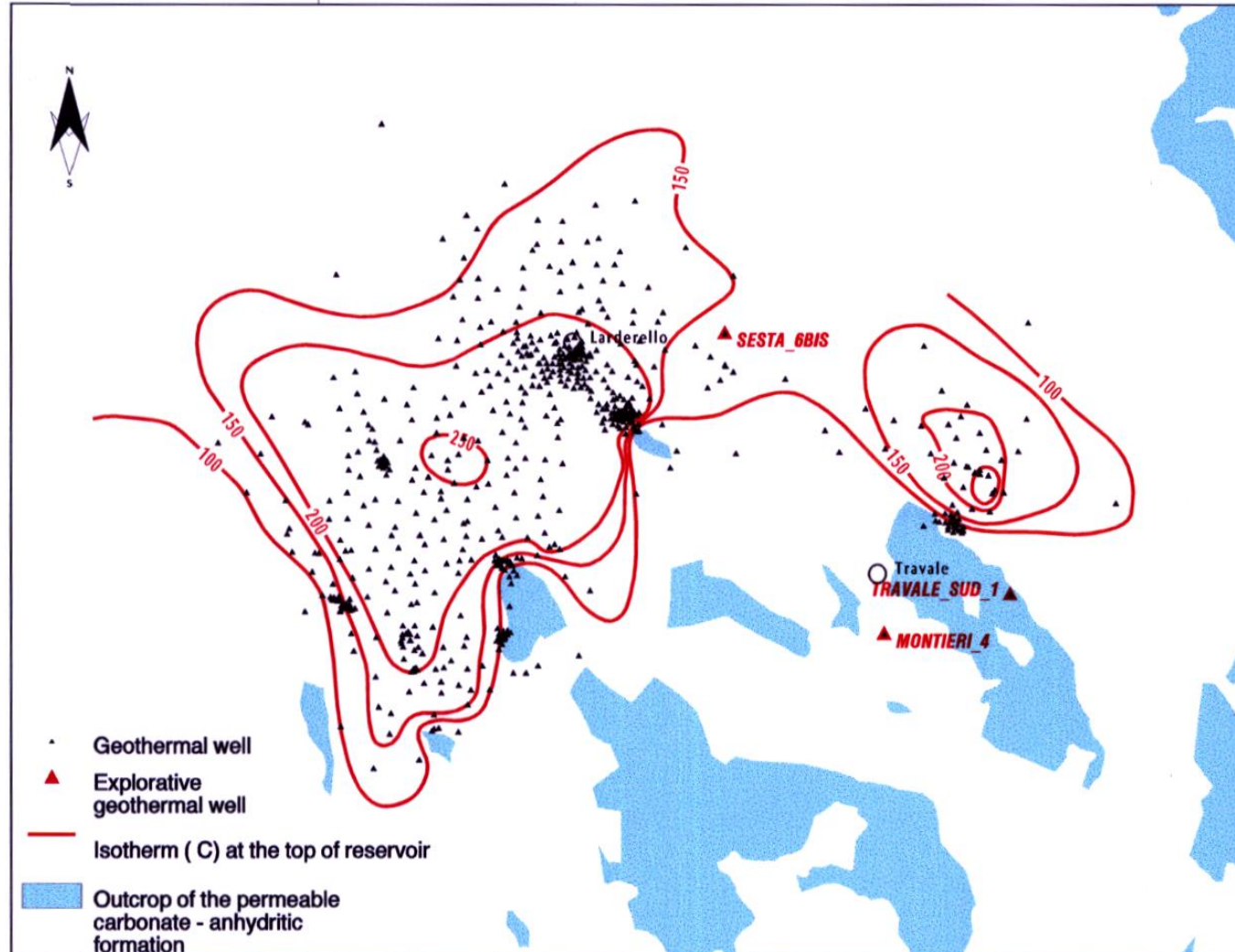
La crisis de petróleo al inicio de los '70s indujo una renovación de interés para la geotermia → nuevas actividades de R&D



# Modelo conceptual del campo geotérmico de Larderello



# Larderello: distribución de temperatura a la profundidad de ~1000 mts



# Pozo Montieri 1: prueba de producción

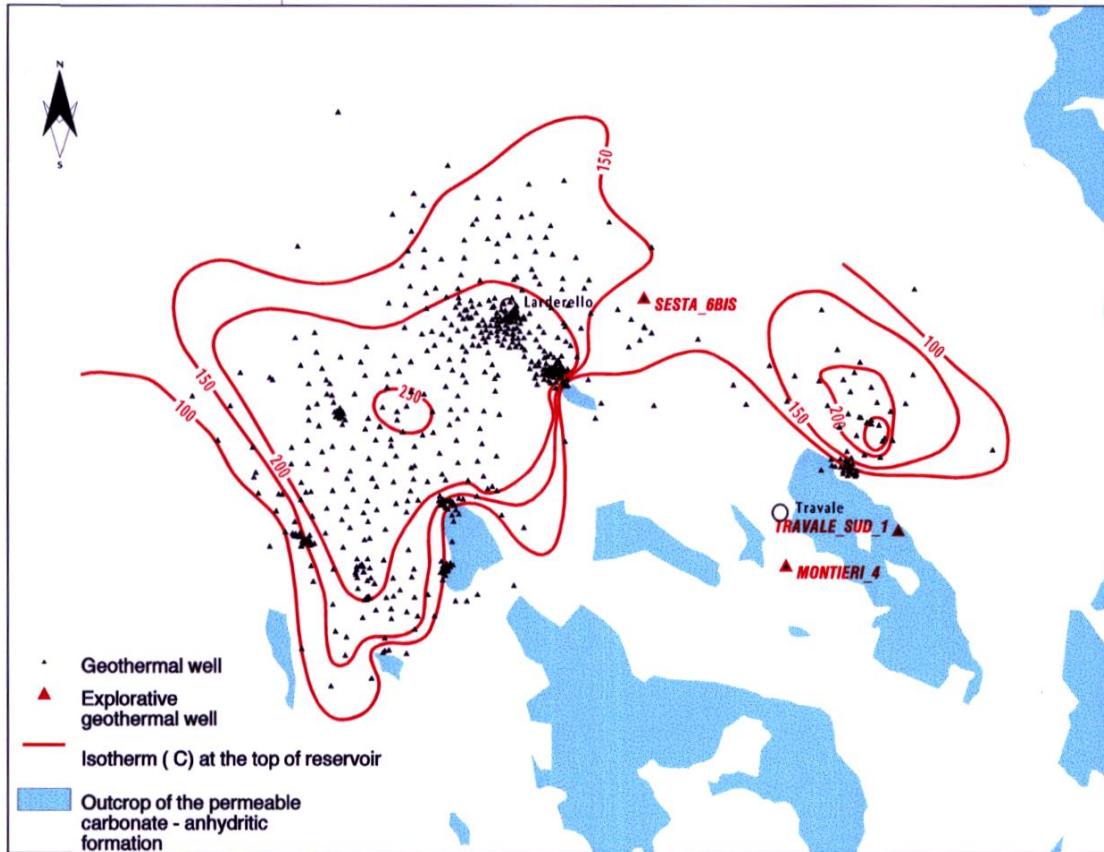


Año 1999: pozo Montieri 1 (2216 m profundidad, vertical) durante prueba de producción

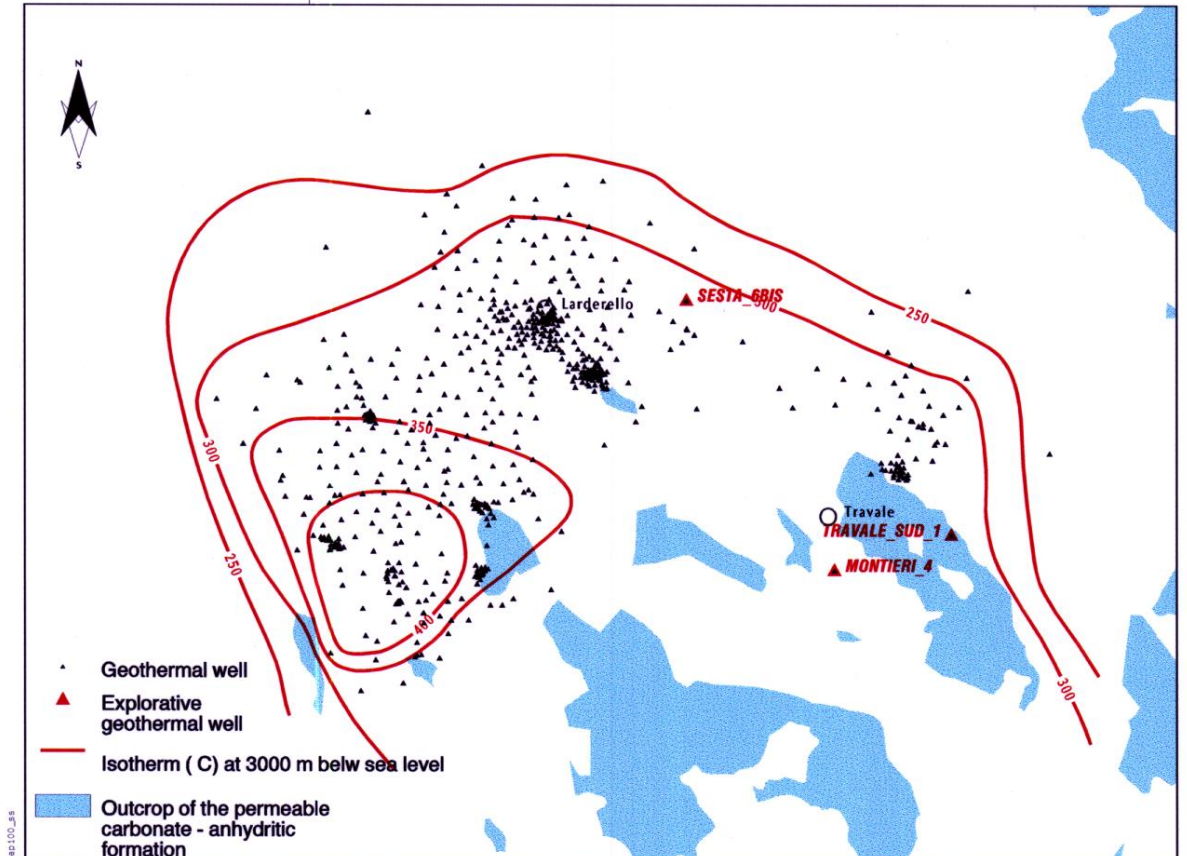
- **220 t/h de vapor**
- **40 bar presión de fluido**
- **~ 30 MW**

Uno de los pozos más productivos en el mundo!

# Larderello: distribución de temperatura a la profundidad de ~1000 mts y 3000 mts

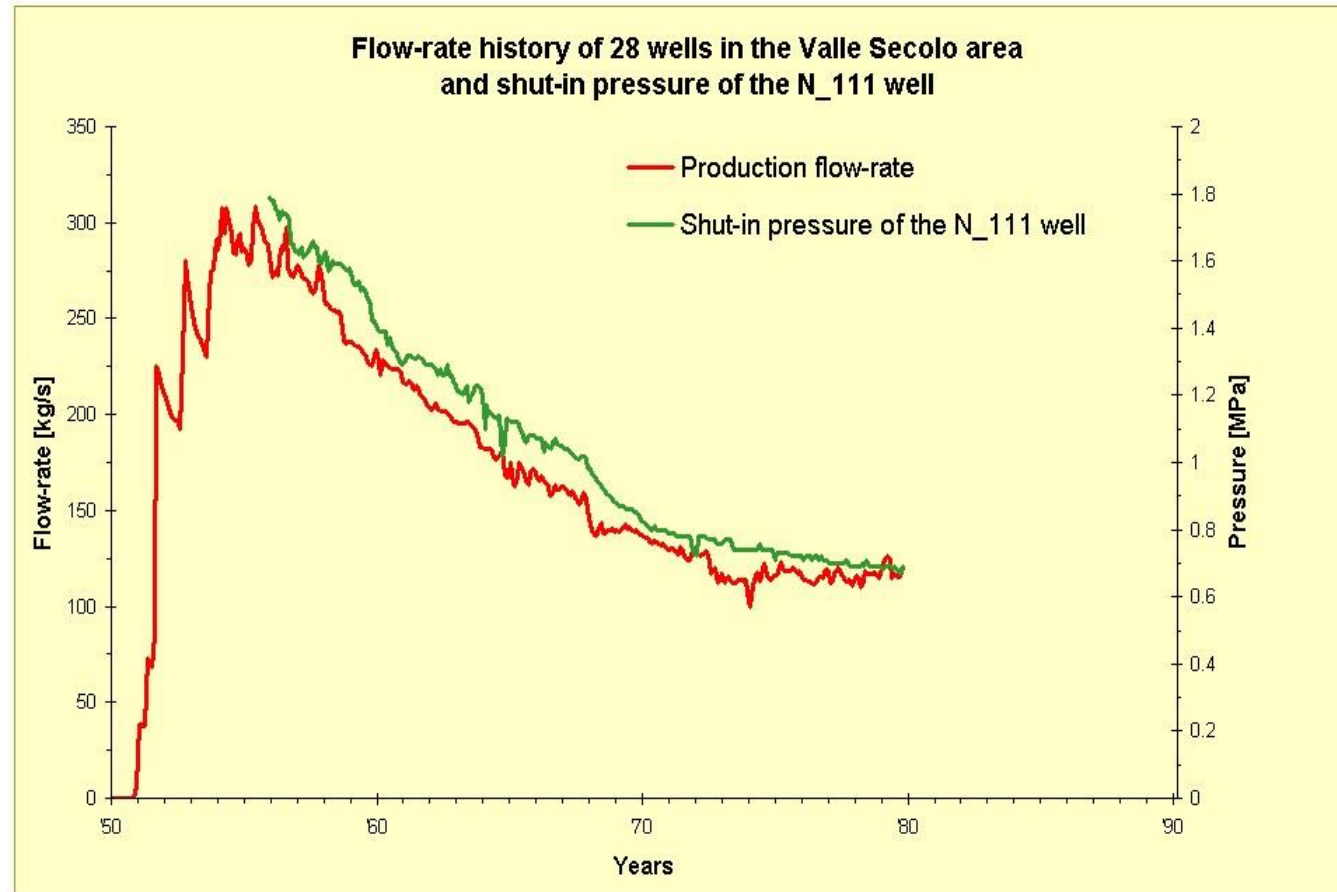


~1000 mts



~3000 mts

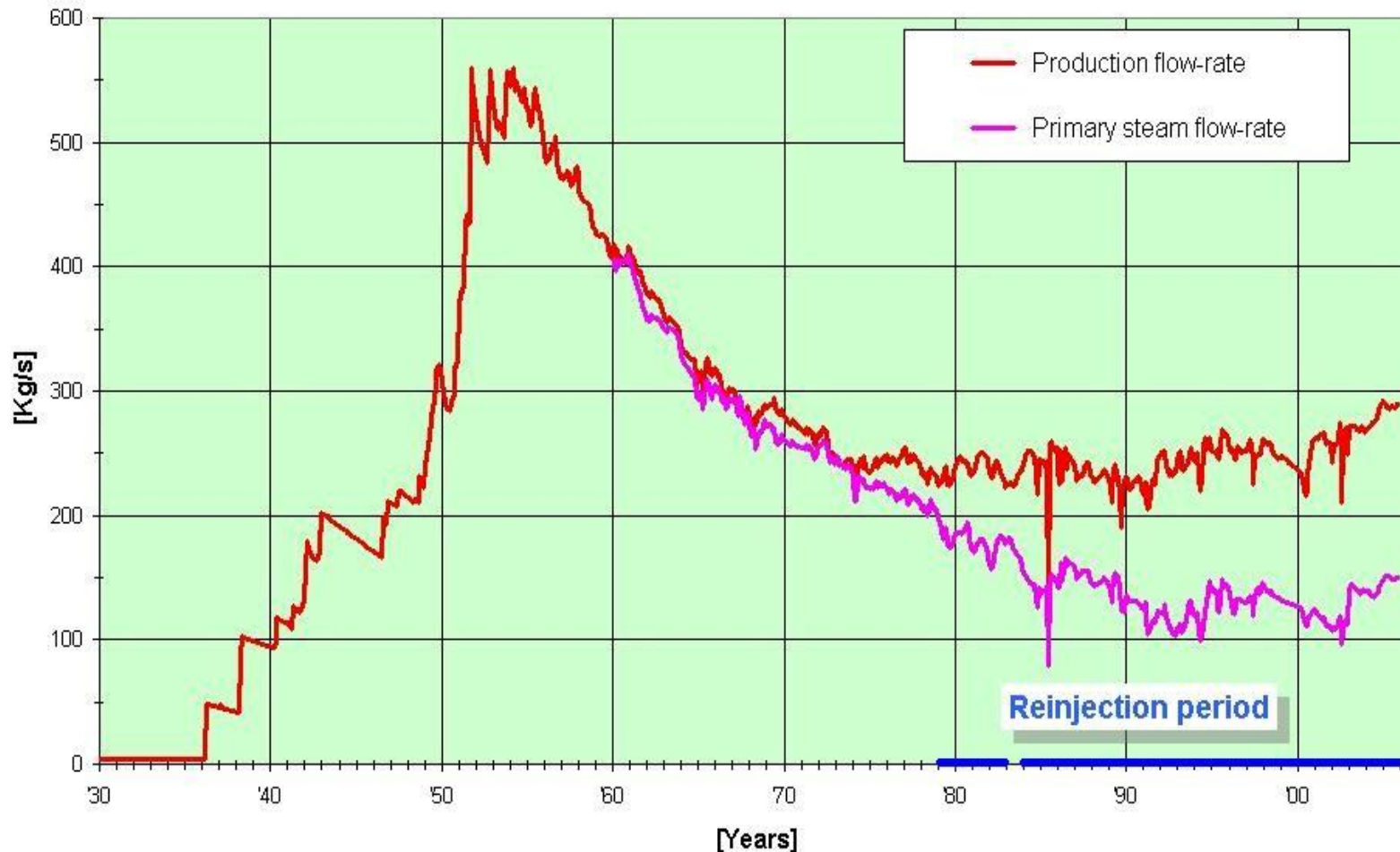
# Explotación intensiva → declino de la producción



*La explotación intensiva del sector central de Larderello provocó una gradual declinación de la producción*

# La reinyección en el área central de Larderello

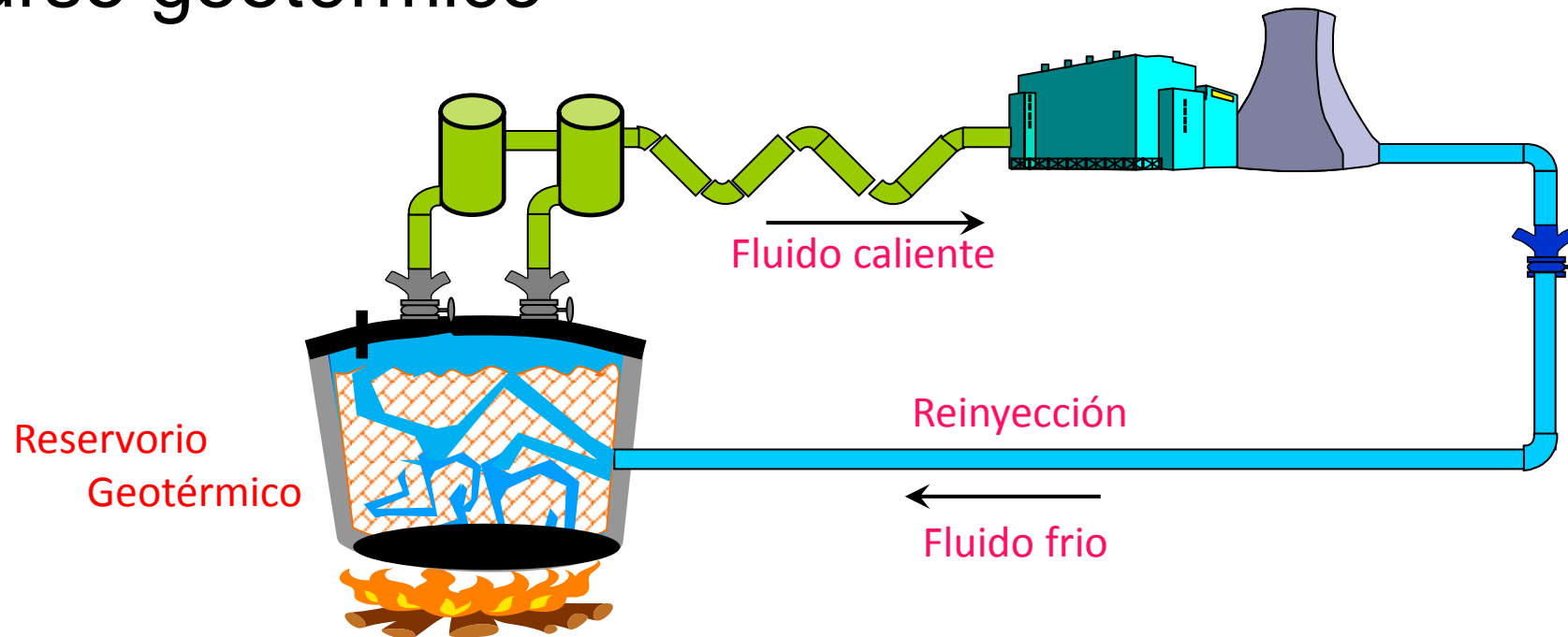
Steam flow-rate of 82 wells in the Valle Secolo area



*La reinyección  
representa  
una estrategia de  
“recupero de la  
producción” para esta  
área*

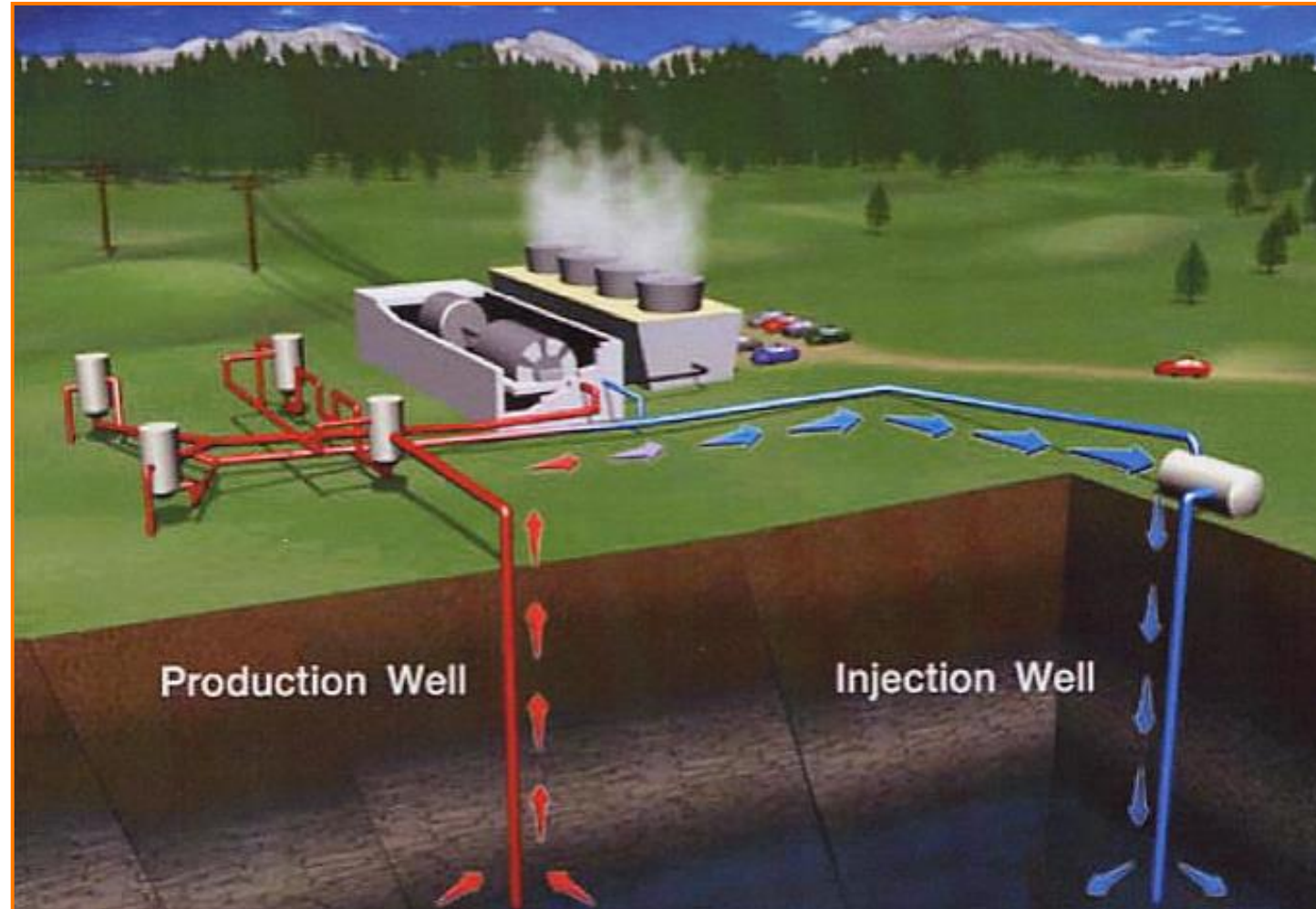


# El recurso geotérmico



- **Recurso geotérmico** es el calor almacenado en las rocas calientes y fracturada del reservorio
- **Fluido Geotérmico** es el vector que permite transferir el calor desde las rocas del reservorio a la planta
- **Ciclo geotérmico** es el conjunto de operaciones de extracción, transformación y reinyección que permite el manejo sustentable del reservorio

# La tecnología de la generación geotérmica



# Resultados del programa R&D



➔ La actividad de **perforación profunda** evidenció la presencia de una anomalía termal en una área ancha y con niveles productivos hasta 3000-4000 m de profundidad

➔ Las estrategias de **reinyección/inyección** demostraron de poder sostener/aumentar la producción de fluido

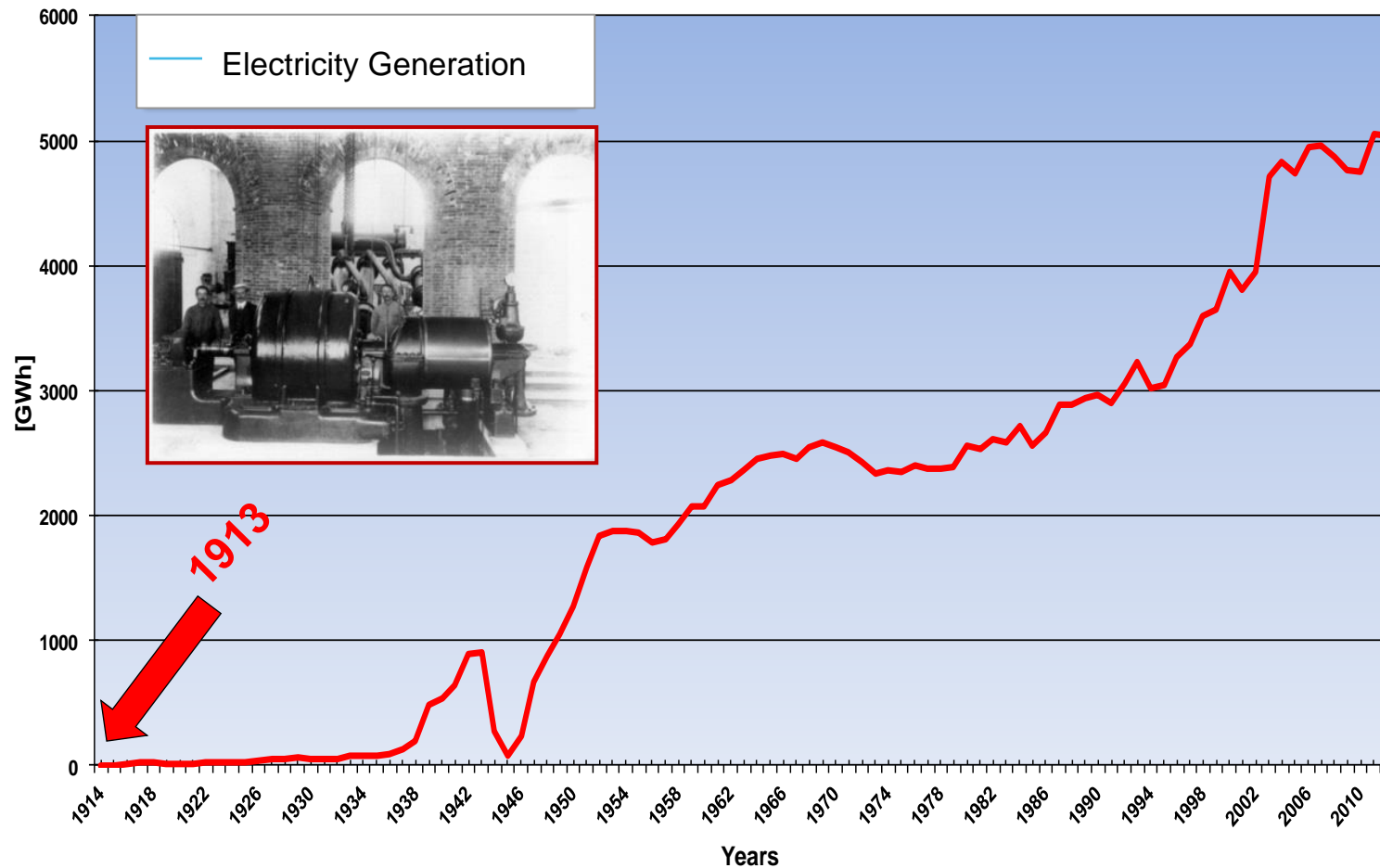
➔ Las **metodologías de estimulación** permitieron de aumentar la producción de los pozos

Se llevó a cabo una reevaluación de los recursos geotérmicos y se adoptaron nuevas estrategias de explotación, basadas en el concepto de :

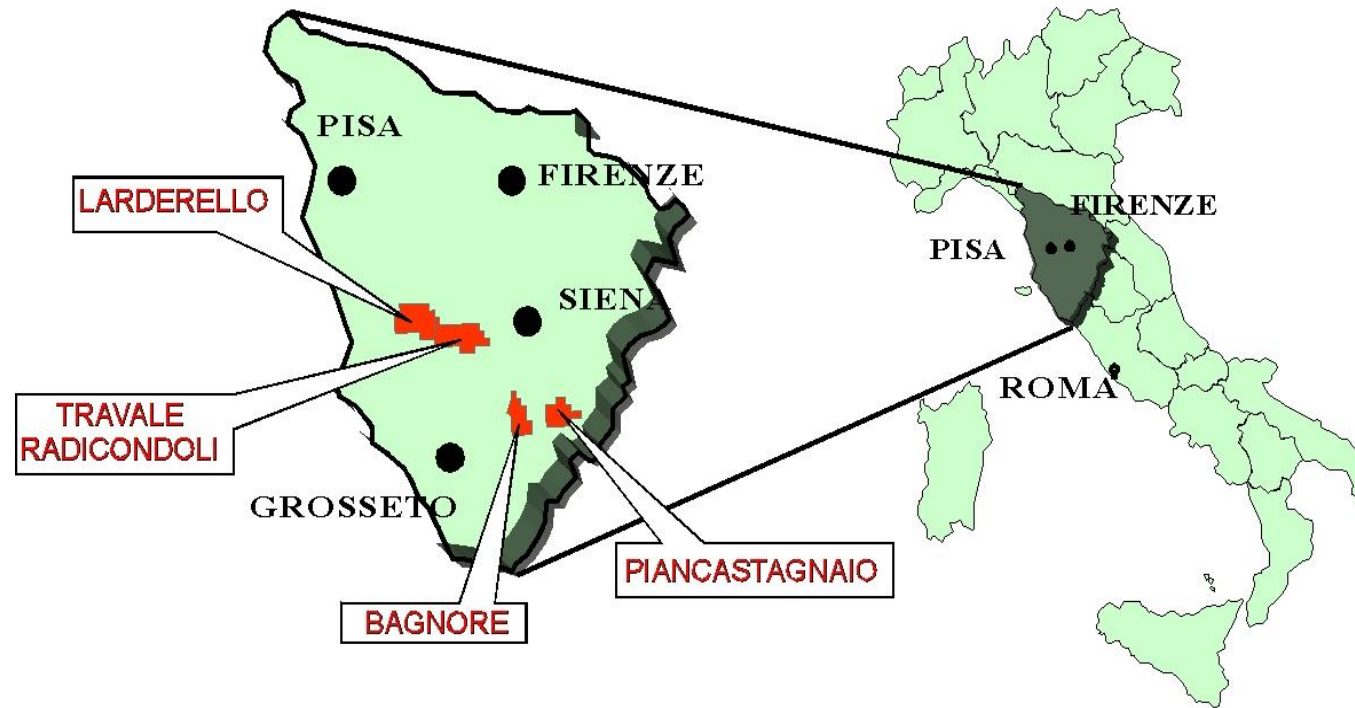
**“Mantenimiento de una producción sostenible”**

# Evolución de la producción eléctrica

## Área de Larderello

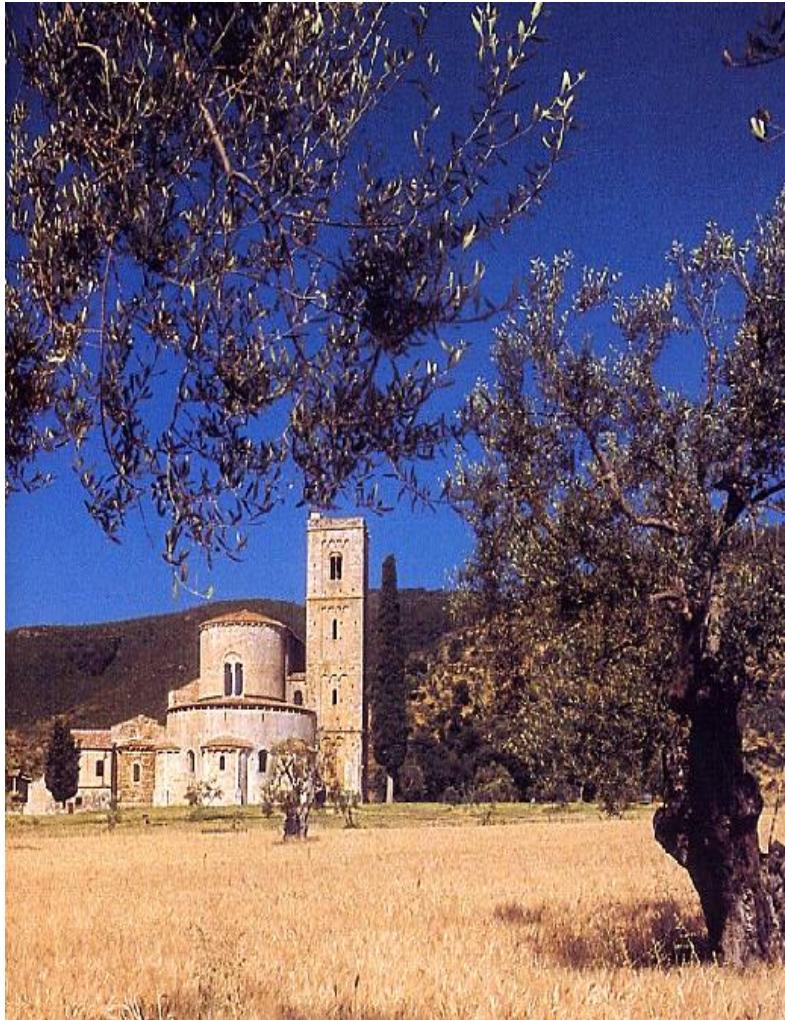


# Las áreas geotérmicas en Toscana



**En 2015 Enel Green Power en Italia cuenta con 33 plantas  
y 770 MW de potencia neta operativa  
5800 GWh la producción eléctrica neta en el año 2015**

# El paisaje toscano típico



# Planta San Martino (40 MW)



# Plantas Nuova Radicondoli y Travale 4



Nuova Radicondoli (40 MW)



Travale 4 (40 MW)



# Carboli 1 y 2 (dos plantas de 20 MW)



# Planta Valle Secolo (2x60 MW)



# Valle Secolo plant (2x60 MW)



# Lesson learned



## ¿Qué demuestran los primeros 100 años en Larderello?

- ***Que la producción geotermo-eléctrica es sostenible***, siempre y cuando es bien manejada mediante una *atenta aplicación de las actividades de producción y reinyección*
- ***El impacto de la geotermia en los temas medioambientales y sociales es muy limitado***, como demuestra la larga historia de desarrollo y operación de plantas en un territorio tan precioso como la Toscana

# Temas



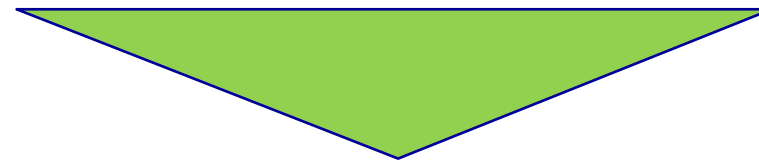
- La Geotermia: conceptos básicos y tipología de plantas
- Desde 1913 → Cien años de producción geo termoeléctrica en Larderello
- El proyecto Cerro Pabellón en Chile

# Chile: alianza Enel Green Power – Enap



**2005 – Constitución de EMPRESA NACIONAL DE GEOTERMIA S.A. (ENG)**

**2006 – Ingreso de ENEL en GEOTÉRMICA DEL NORTE S.A. (GDN)**



Acuerdo estratégico para el desarrollo de proyectos geotérmicos en Chile

# ENG – GDN

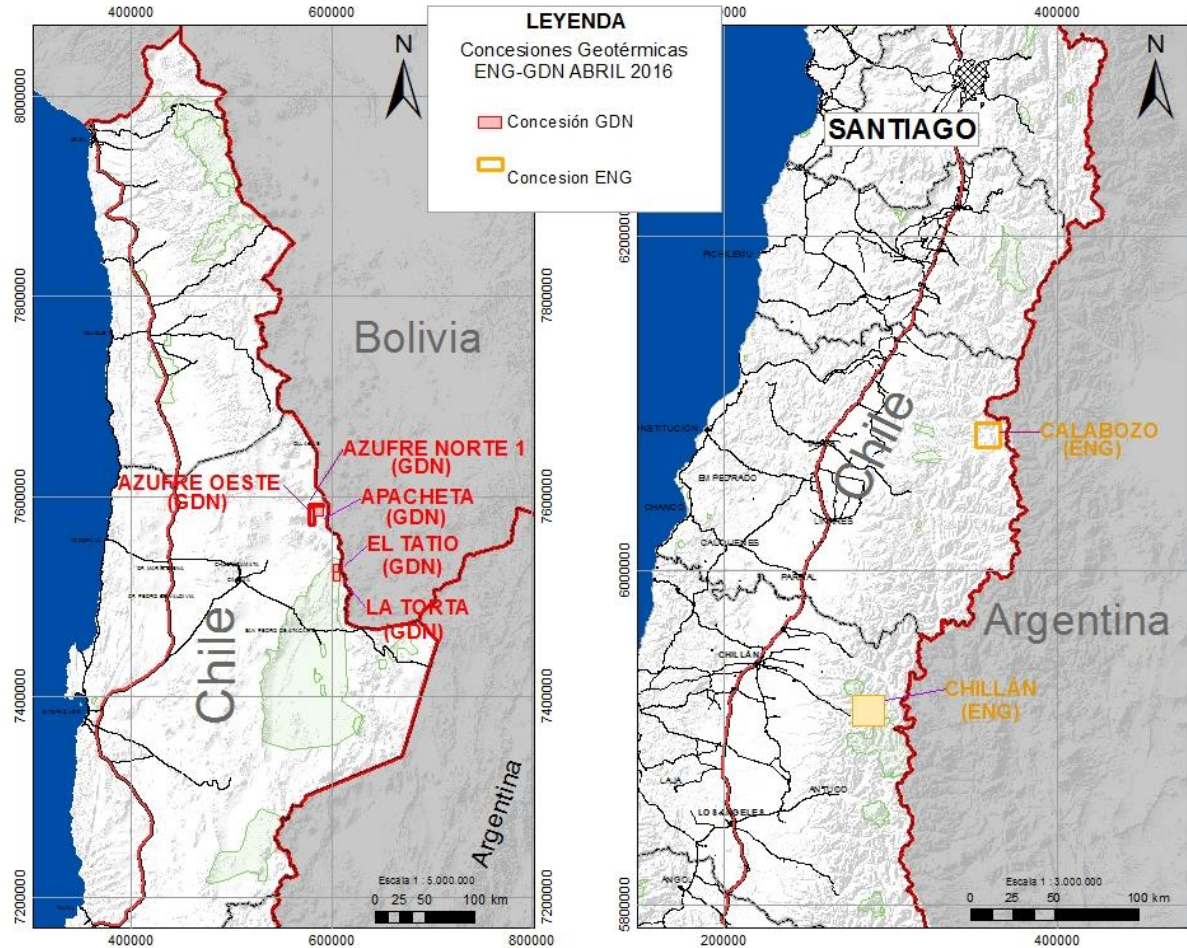
## Concesiones Geotérmicas

### Norte

- Apacheta
- Azufre Norte
- Azufre Oeste
- La Torta
- El Tatio

### Centro

- Calabozo
- Chillán



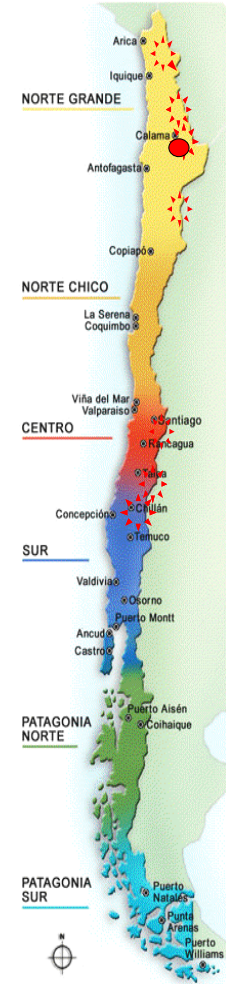
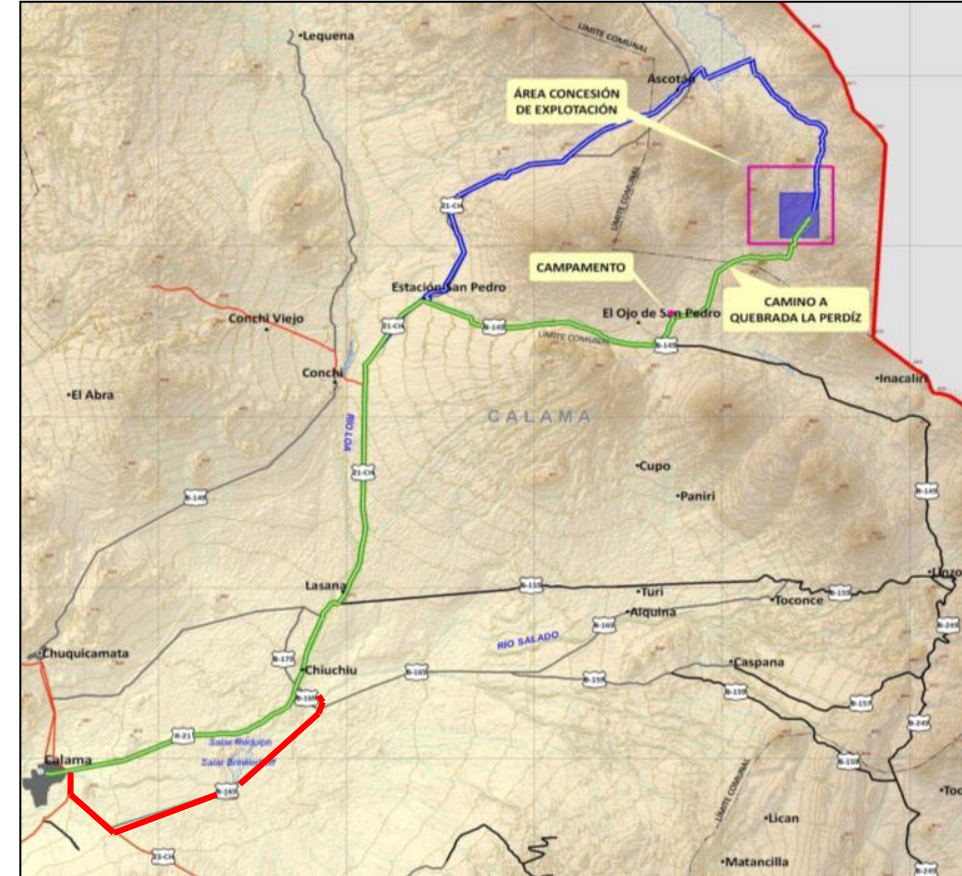
Geothermal Potential of Chile estimated at around 3.500 MW\*

(\* ) Consejo Geotérmico de Chile

# Cerro Pabellón: Exploración superficial y profunda



- El proyecto se ubica en el **desierto de Atacama** (Chile) a una altura de 4500 m, a aprox. 100 km noreste de la ciudad de Calama, en el Norte de Chile
- En el marco de la concesión geotérmica Apacheta se han desarrollados programas de **exploración superficial y profunda**.
- Se han perforado **4 pozos exploratorios** hasta la profundidad de ~ 2000 m que han permitido verificar la presencia de un reservorio con temperatura de 260°C y elevada productividad



**Ubicación y caminos principales**



# Ubicación de los 4 pozos exploratorios perforados



# Apacheta: área del proyecto



# Pozo CP-1 en prueba de producción

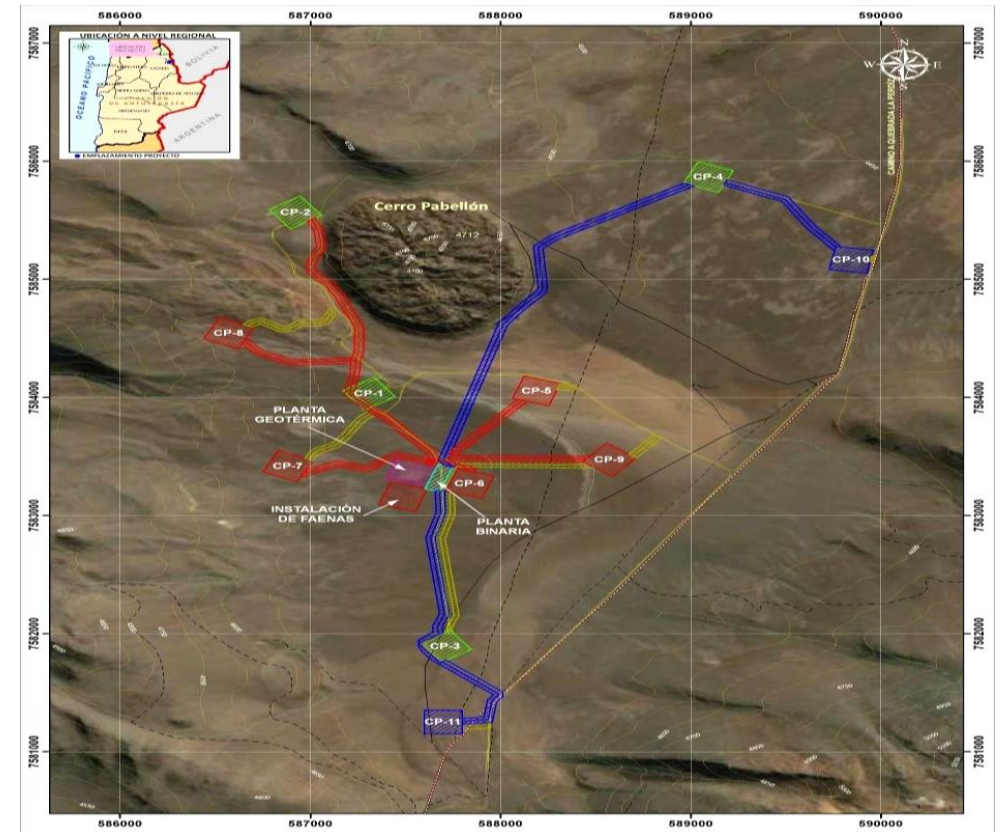


- Temperatura: ~ 260 °C
- Flujo Total: ~ 300 t/h
- Potencia: ~ 9 MWe

# Proyecto Cerro Pabellon

## Programa de desarrollo

- En fase de construcción un programa de desarrollo con un plan de inversión multianual que incluye perforación de pozos, construcción de una planta de **48 MW** y de una línea eléctrica larga alrededor de 80 km.
- El relación a la localización del proyecto (Deserto de Atacama) se ha tomata la decisión de instalar plantas de tipo binario (ORC) con módulos de 24 MW cada uno
- Ya se han perforados 4 pozos para la producción y reinyección de fluidos, mientras las actividades de construcción de la planta y de la línea de trasmisión están avanzando. El COD de la primera unidad esta previsto al final del 2016

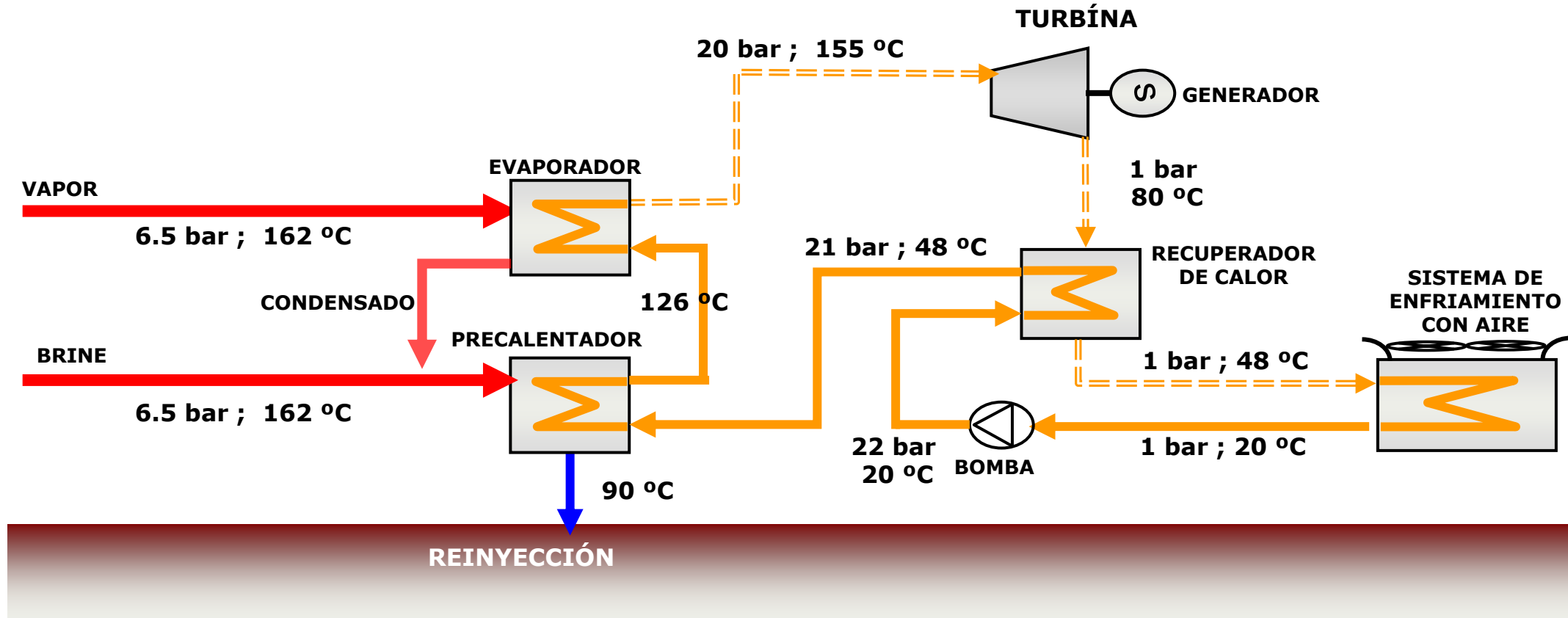


**Este será el primer proyecto geotérmico en Sur America**

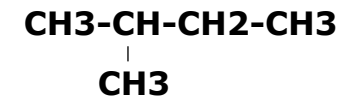
# Pozo CP5 en prueba de producción



# Planta geotérmica con ciclo binario



ISOPENTANO,  $T_{eb.} = 28 \text{ °C} @ 1 \text{ bar}$



# Línea de Alta Tensión – Proyecto Cerro Pabellón



Línea eléctrica de 220 kV y de 80 km de longitud



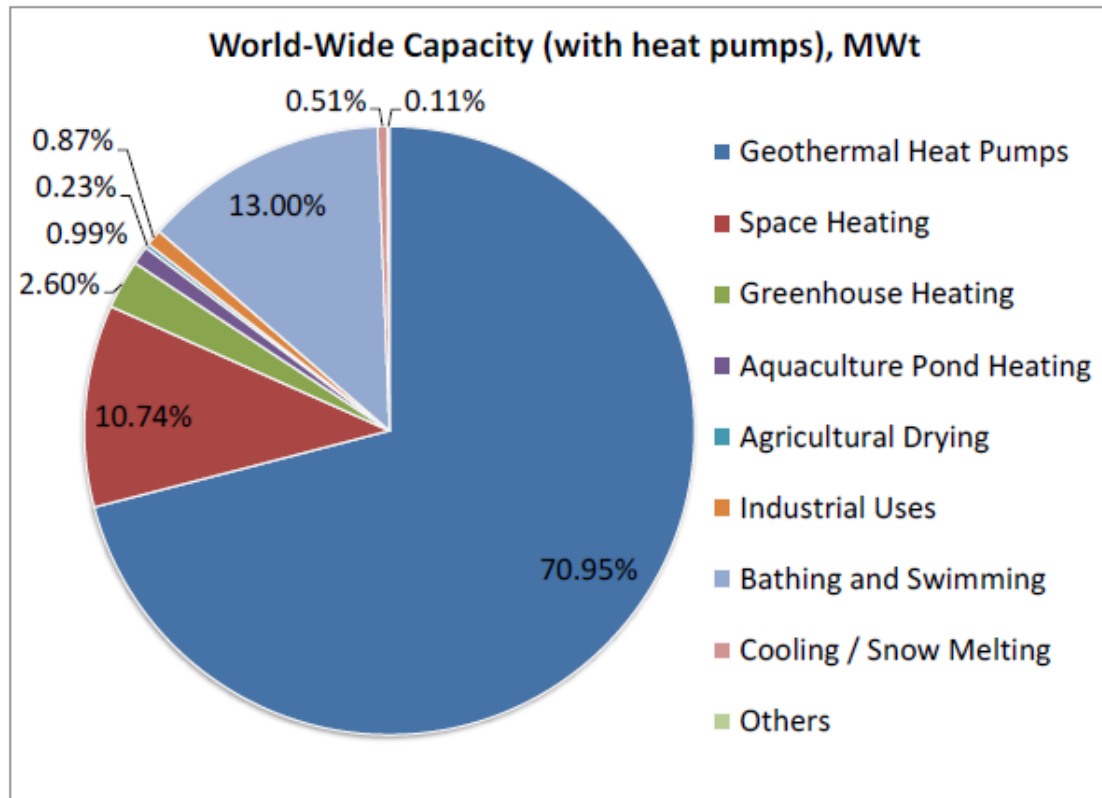
Muchas gracias



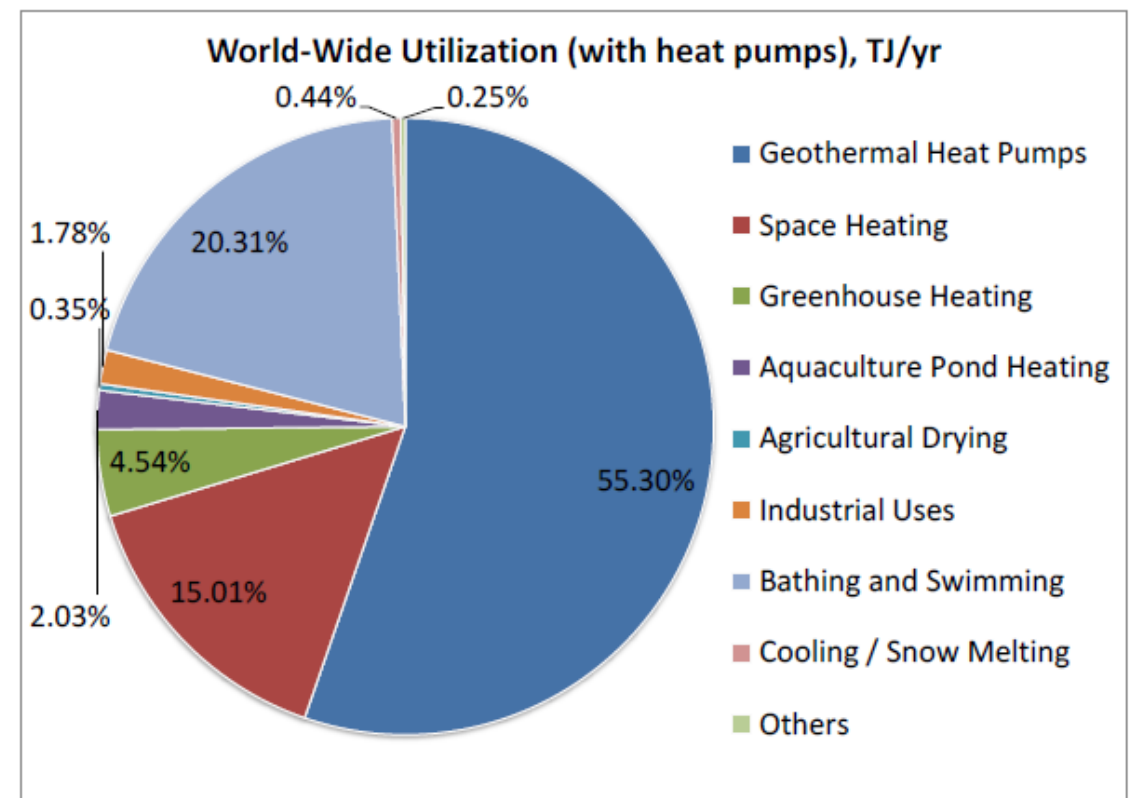


# Back up

# Usos directos en el mundo



70.329 MWt



587.786 TJ/y

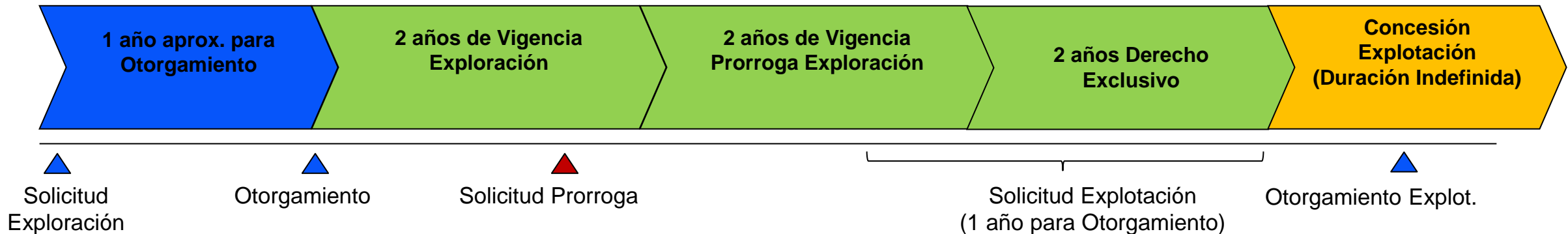
# Concesión Geotérmicas en Chile

## Proceso de otorgamiento y etapas



<b>Exploración</b> Forma Rectangular sin limite extensión (km <sup>2</sup> )	- Solicitud Directa* - Licitación Ministerio Energía	<b>2 años</b> Informar Avance Actividad al Ministerio cada Marzo No paga patente	<b>2 años más</b> si se demuestra haber gastado al menos el 25% del presupuesto ofertado en Licitación o Solicitud	<b>2 años:</b> en exclusividad para solicitar <b>una</b> Conc. Explotación de max 200 km <sup>2</sup> al interior del perímetro de la C. Exploración original.
<b>Explotación</b> Forma Rectangular Max 200 km <sup>2</sup>	- Solicitud Directa* - Licitación Ministerio Energía - <i>Derecho exclusivo</i>	<b>Ilimitada</b> si se cumple con el programa (informar Ministerio cada Marzo) y se paga una <b>patente anual</b> que depende de la superficie	NA	NA

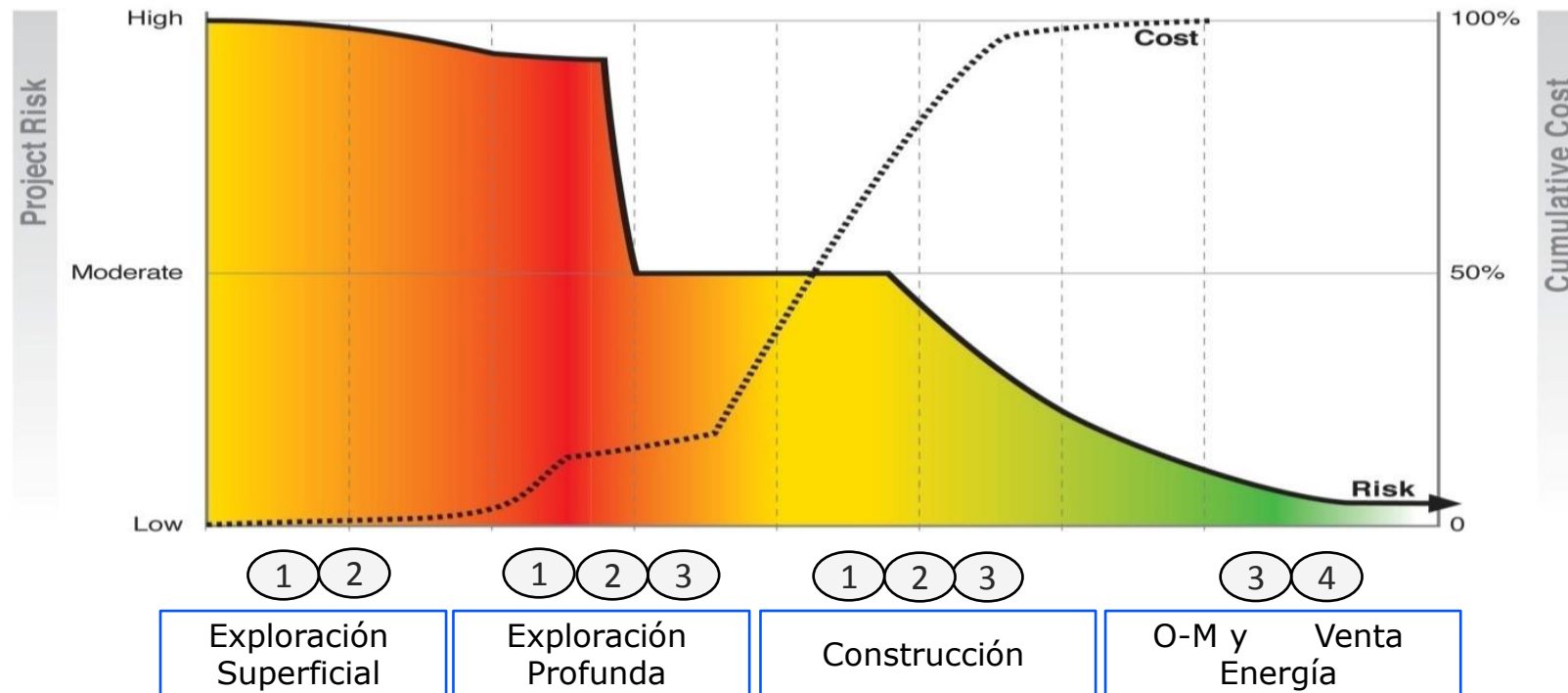
(\*) En todo caso se va a Licitación si un tercero se opone en un plazo de 45 días



# Modelos de Desarrollo adoptados en el mundo

A nivel internacional, para mitigar el riesgo del operador y facilitar la expansión o la puesta en operación de nuevas plantas geotérmicas, fueron adoptados modelos de desarrollo basados en:

- ① - *Liderazgo del sector publico (exploración)*
- ② - *Donativos o financiamientos a bajos costos (exploración y construcción)*
- ③ - *Incentivos fiscales (exploración, construcción y operación)*
- ④ - *Feed in tariff y entrada preferente en el mercado eléctrico (operación)*



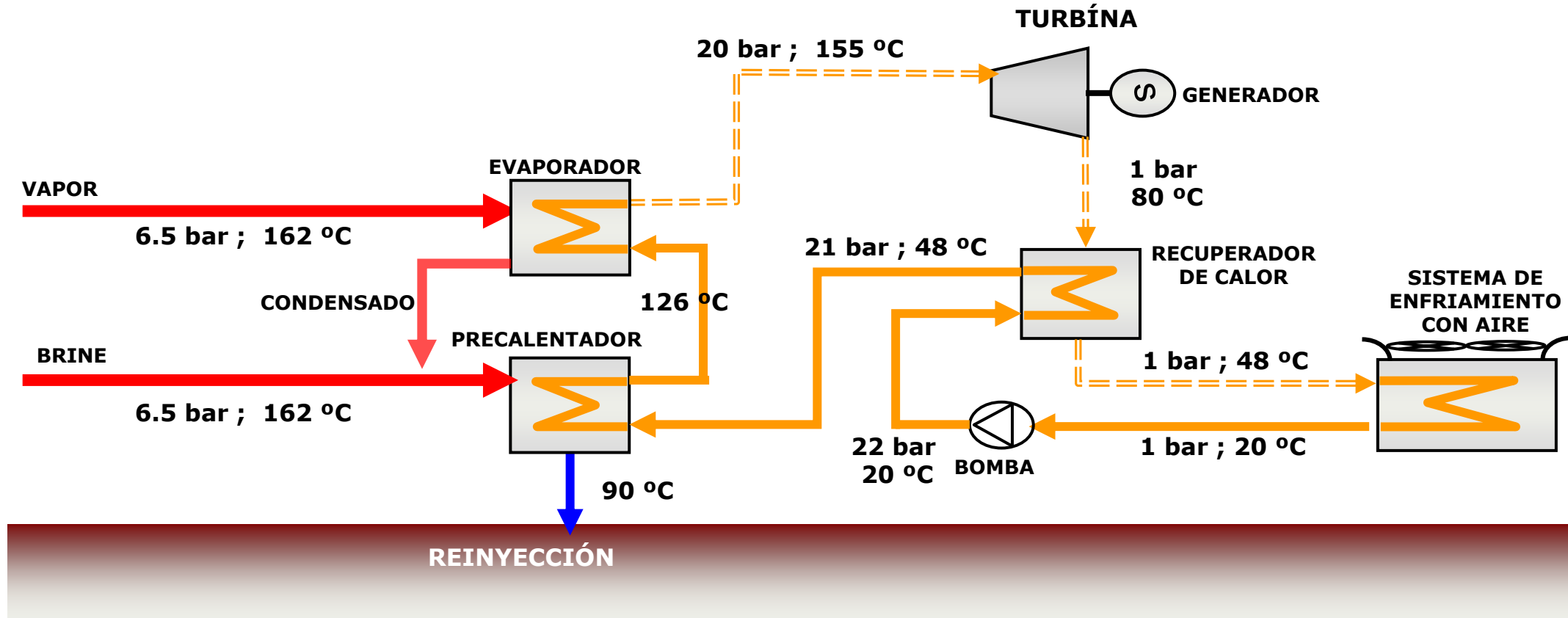
# Modelos de Desarrollo y incentivos



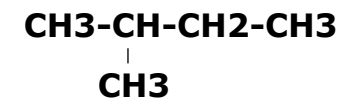
Medidas adoptadas en varios países del mundo para el desarrollo de la geotermia. Caso de estudio de 10.900 MW VS 11.200 MW (97%) instalados al final del 2012 (GEA 2012)

	Potencia instalada (2012) GEA 2012	Liderazgo del sector publico	Donativos o financiamientos a bajos costos	Incentivos fiscales	Feed in tariff y entrada preferente en el mercado
Estados Unidos	3187		SI	SI	
Pilipinas	1904		SI	SI	
Indonesia	1222		SI	SI	SI
Mexico	958	SI	SI	SI	SI
Italia	883	SI			SI
Japon	535		SI		SI
Nueva Zelanda	768	SI	SI		
Islandia	661	SI			
Costa Rica	208	SI	SI		
El Salvador	204	SI	SI		
Kenia	202	SI	SI		SI
Turquía	98		SI		SI
Guatemala	52	SI	SI	SI	
Alemania	12,1				SI

# Planta geotérmica con ciclo binario



ISOPENTANO,  $T_{eb.} = 28 \text{ °C} @ 1 \text{ bar}$



# La evolution de los precios en Chile: US\$/MWh

Precios promedio por proceso de licitación

