

# **GEOTERMIA**

## **Energias renováveis**

Miguel Centeno Brito

## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

Aproveitamentos de

- alta entalpia
- baixa entalpia

[ENTALPIA]  **$H = U + PV$**

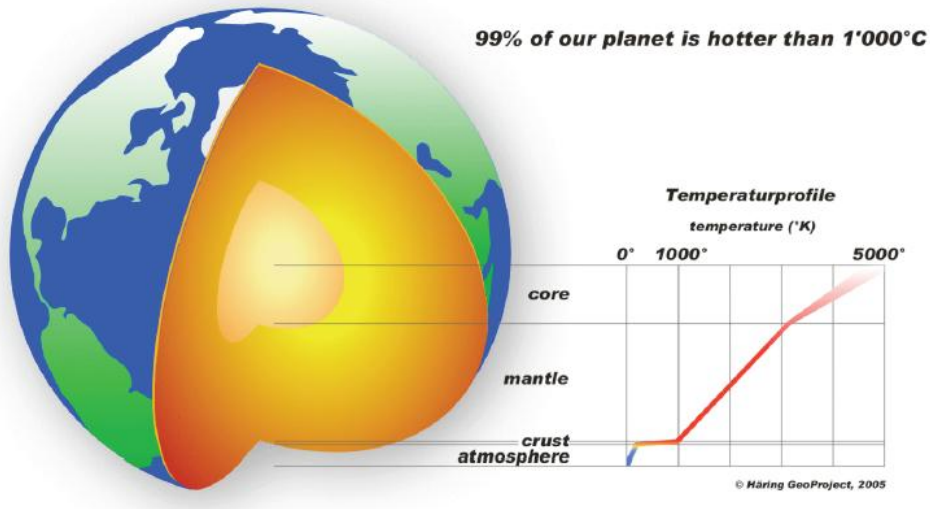
energia de um sistema termodinâmico que pode ser extraída sob a forma de calor, inclui energia interna e energia armazenada no conjunto sistema-vizinhança

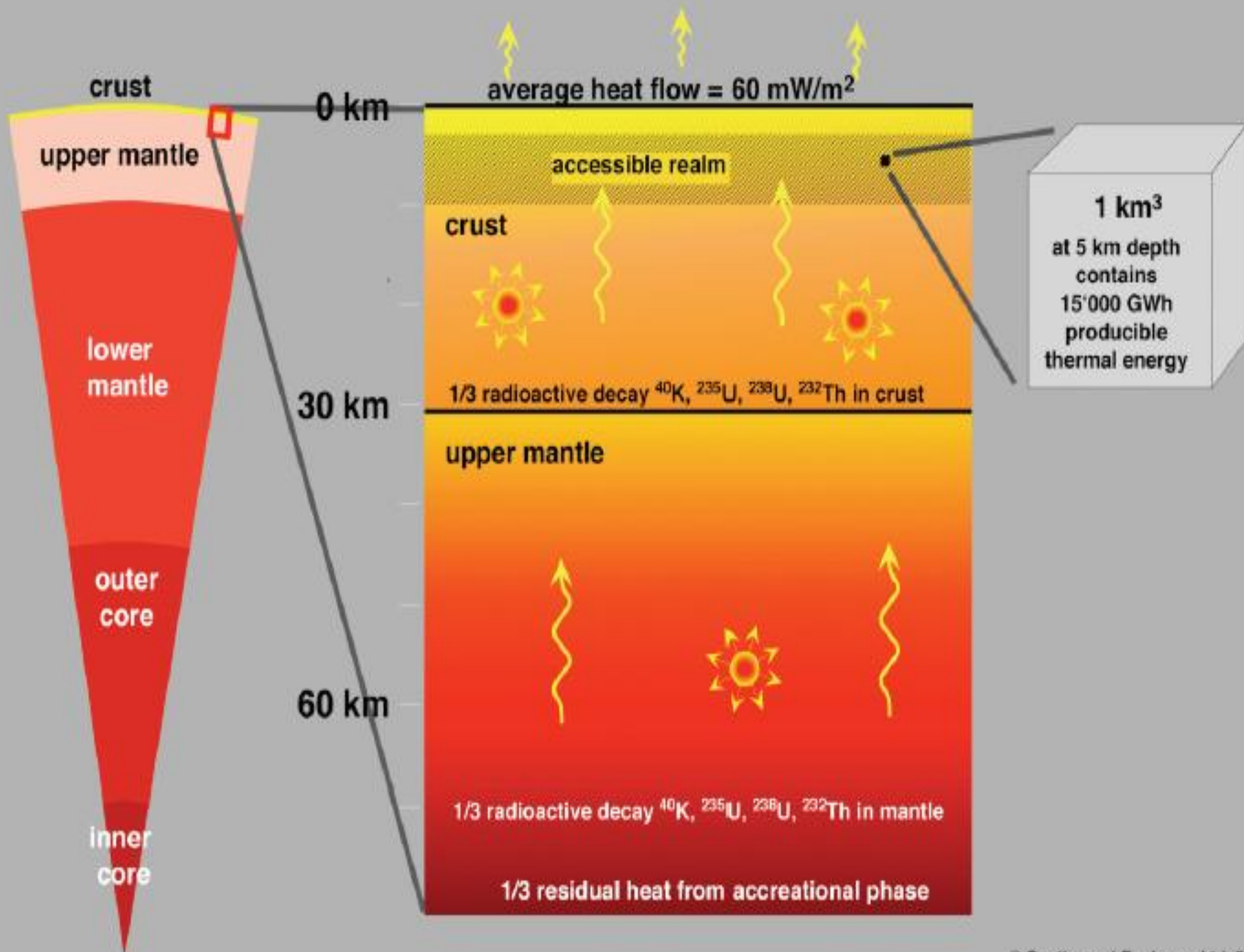
## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

Calor proveniente de

- **centro** da Terra
- decaimento **radioactivo** de elementos na crosta





## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

Calor proveniente de

- **centro** da Terra
- decaimento **radioactivo** de elementos na crosta

Fluxo de calor médio:

**Sob os continentes:  $0.06 \text{ W/m}^2$**

**Sob os oceanos:  $0.01 \text{ W/m}^2$**

Gradiente típico:

15-20 k/km

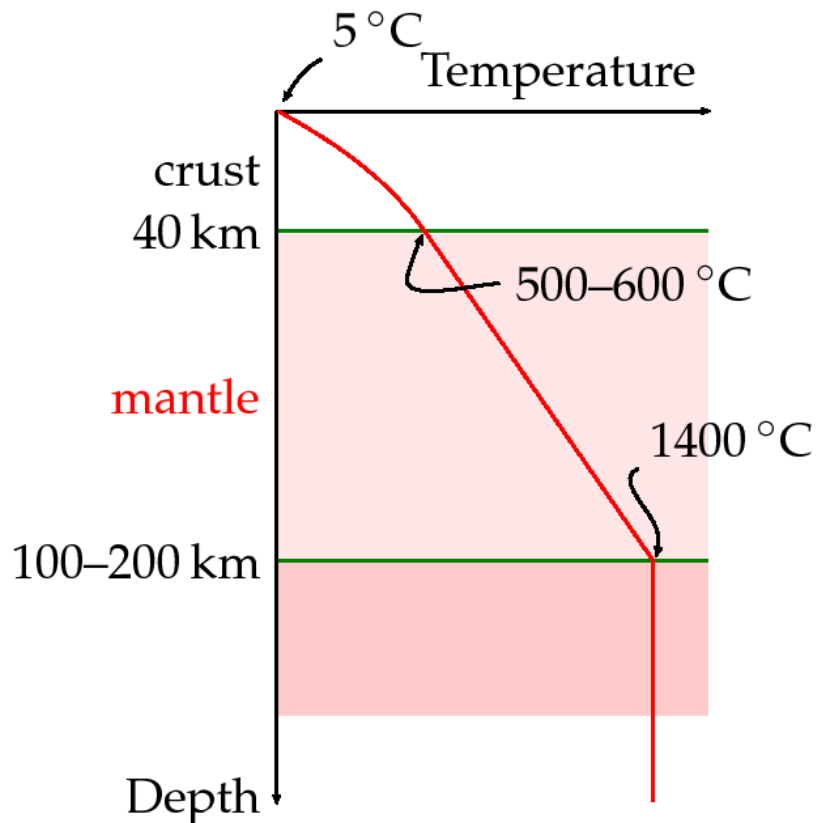
Condutividade térmica:

2.5-3-5 W/m/K

Localmente, intrusões magmáticas podem aumentar fluxo de calor significativamente. Em algumas zonas atinge-se  $0.1 \text{ W/m}^2$ .

## Energia geotérmica

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.



Gradiente típico:

15-20 k/km

Condutividade térmica:

2.5-3-5 W/m/K

## **Energia geotérmica**

Aproveitamento energia térmica armazenada na crosta terrestre.

**Será uma fonte renovável de energia?**

**Será uma fonte sustentável de energia?**

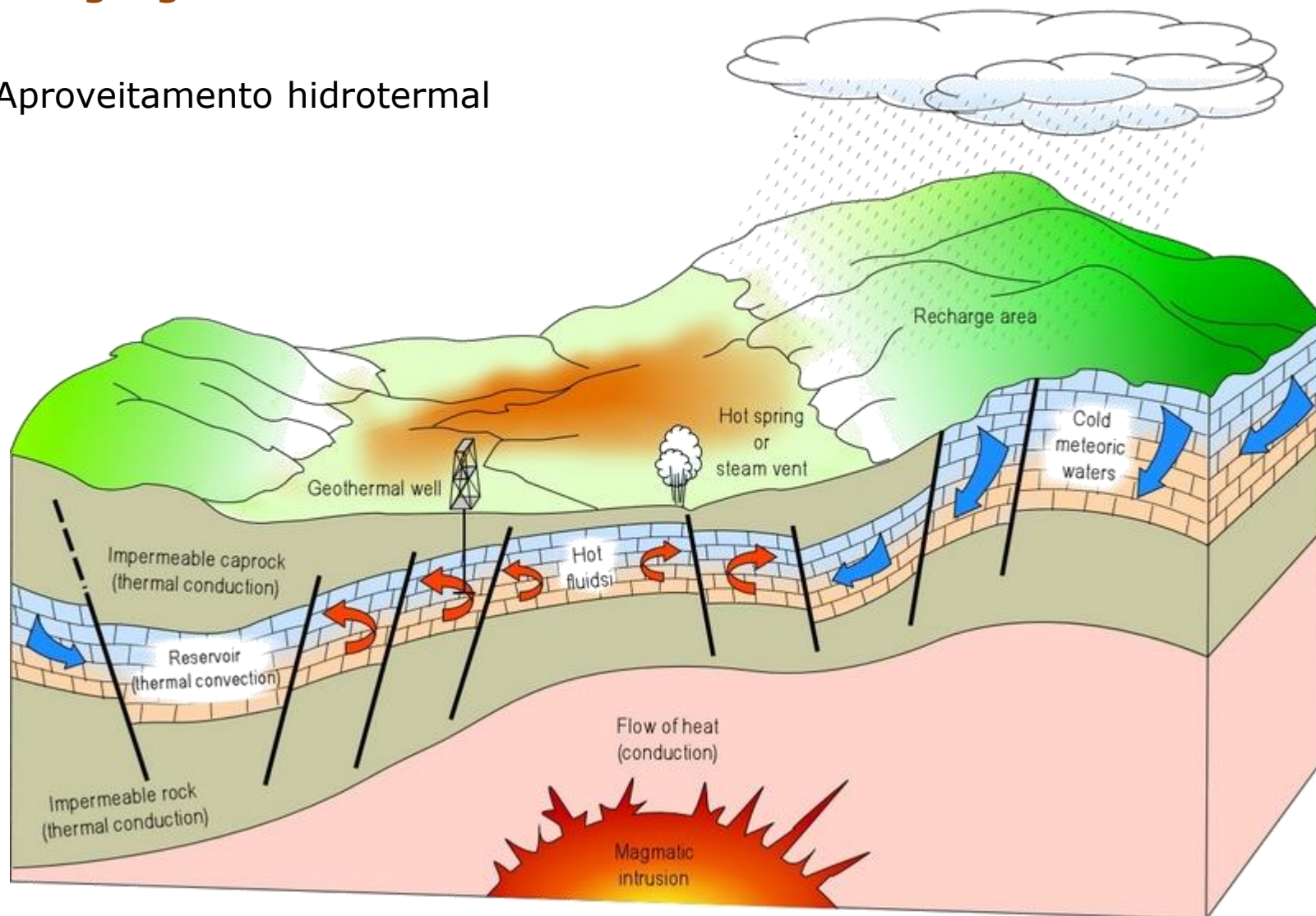
**Baixa densidade energética mas  
'sempre ligado'**

### **Tipos de recursos geotérmicos:**

- hidrotermais – água quente ou vapor em aquíferos, a alta pressão
- água salgada com metano dissolvido sob pressão
- rocha quente
- magma

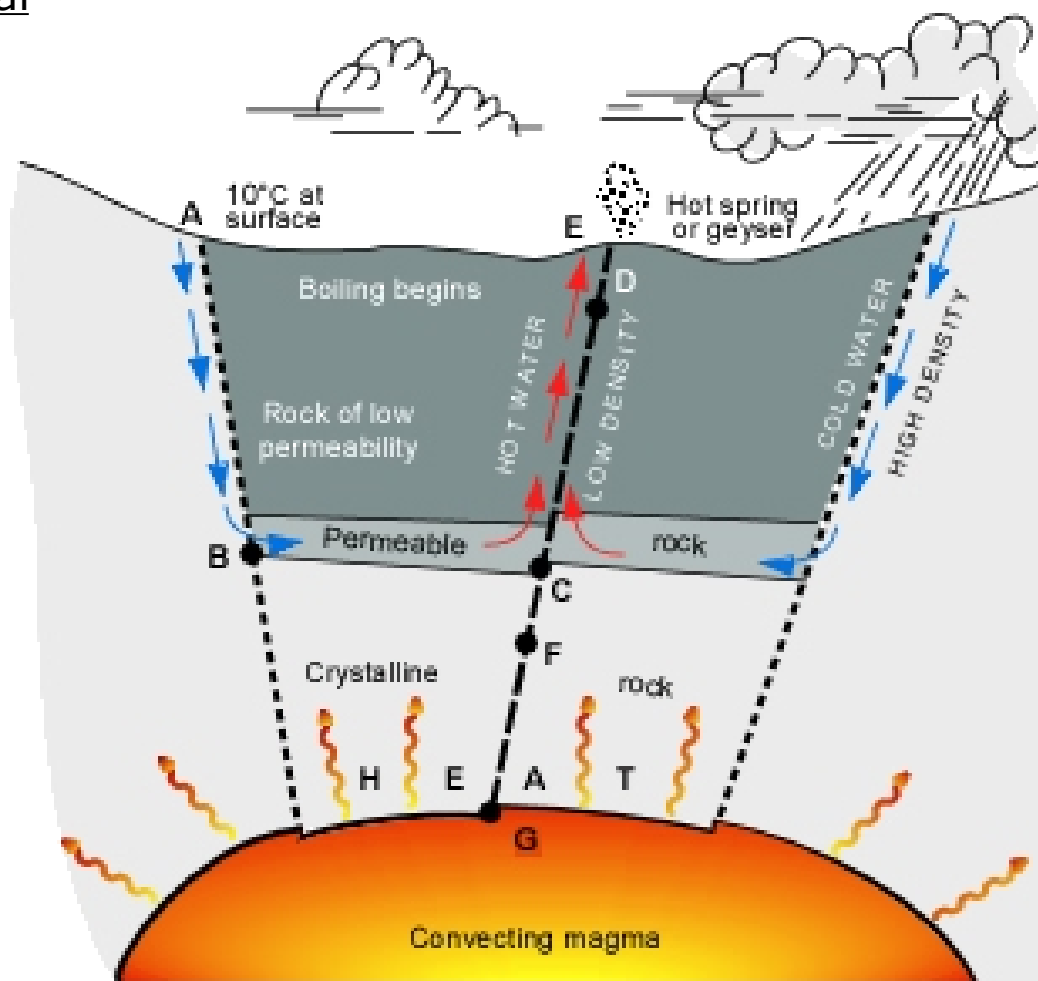
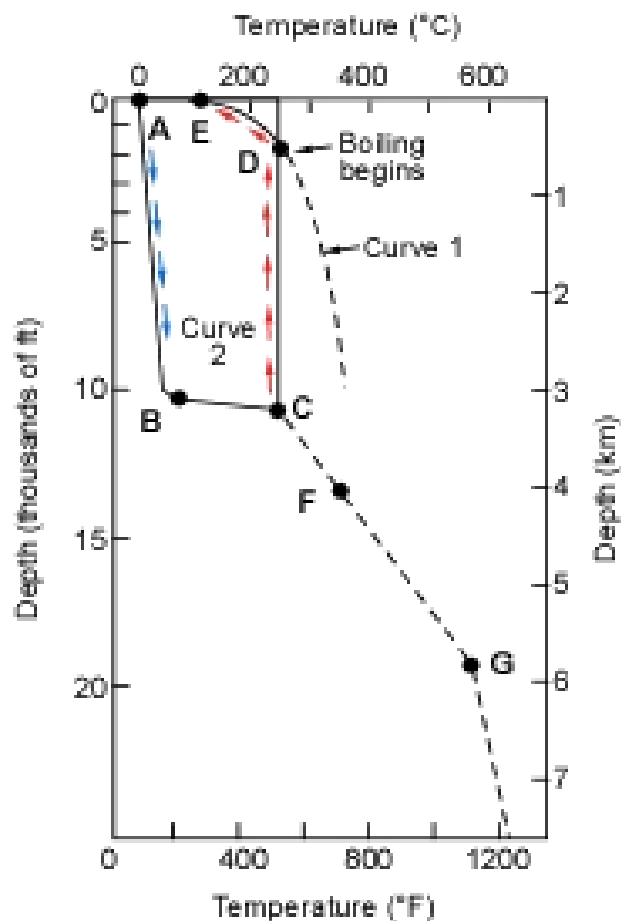
## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal



# Energia geotérmica

## Aproveitamento hidrotermal



## **Energia geotérmica**

### Aproveitamento hidrotermal

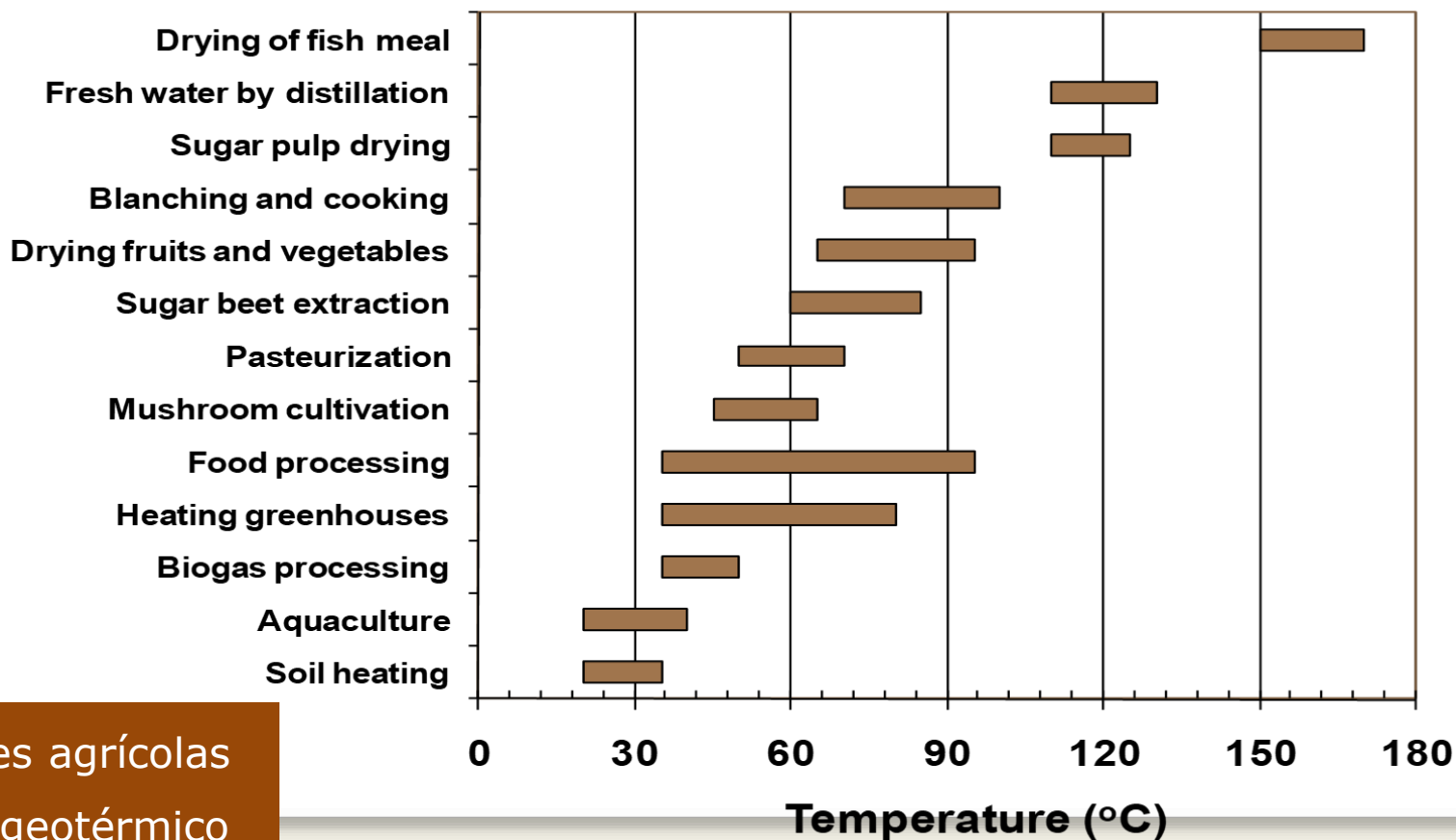
Comuns em zonas com episódios de vulcanismo recente ou 'agitação tectónica' (e.g. formação de montanhas)

## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor



Aplicações agrícolas  
de calor geotérmico

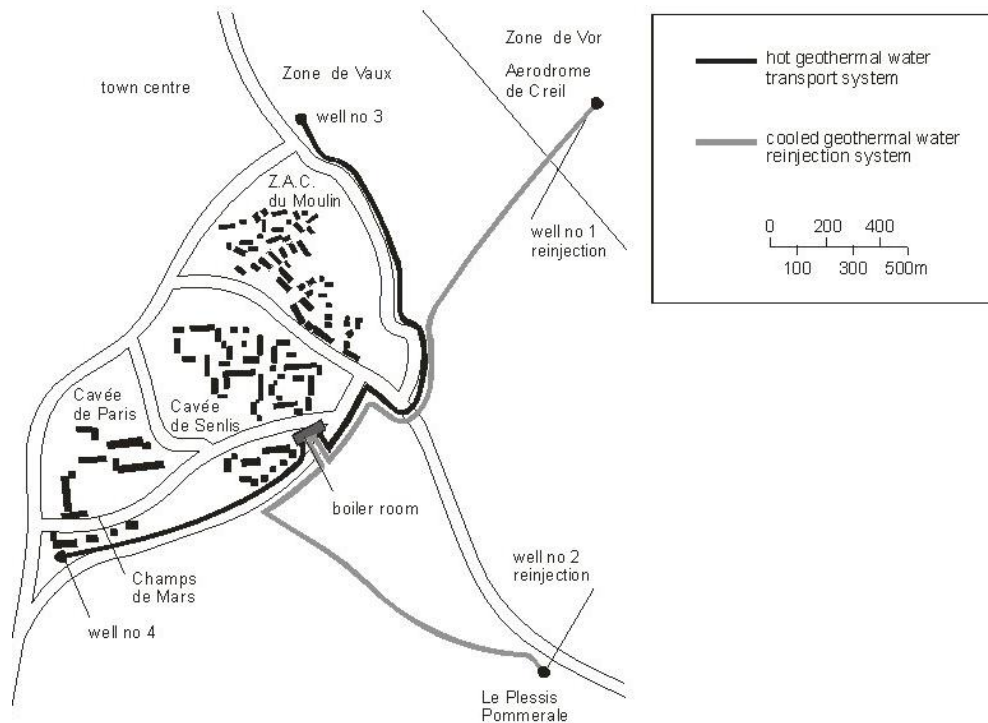
# Energia geotérmica

## Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor

com ou sem bombas de calor



Sistema de distribuição de calor geotérmico em Creil, norte de Paris (1976)

55-70°C

@ 1-2 km profundidade

2000 utilizadores directos

2000 utilizadores bomba calor

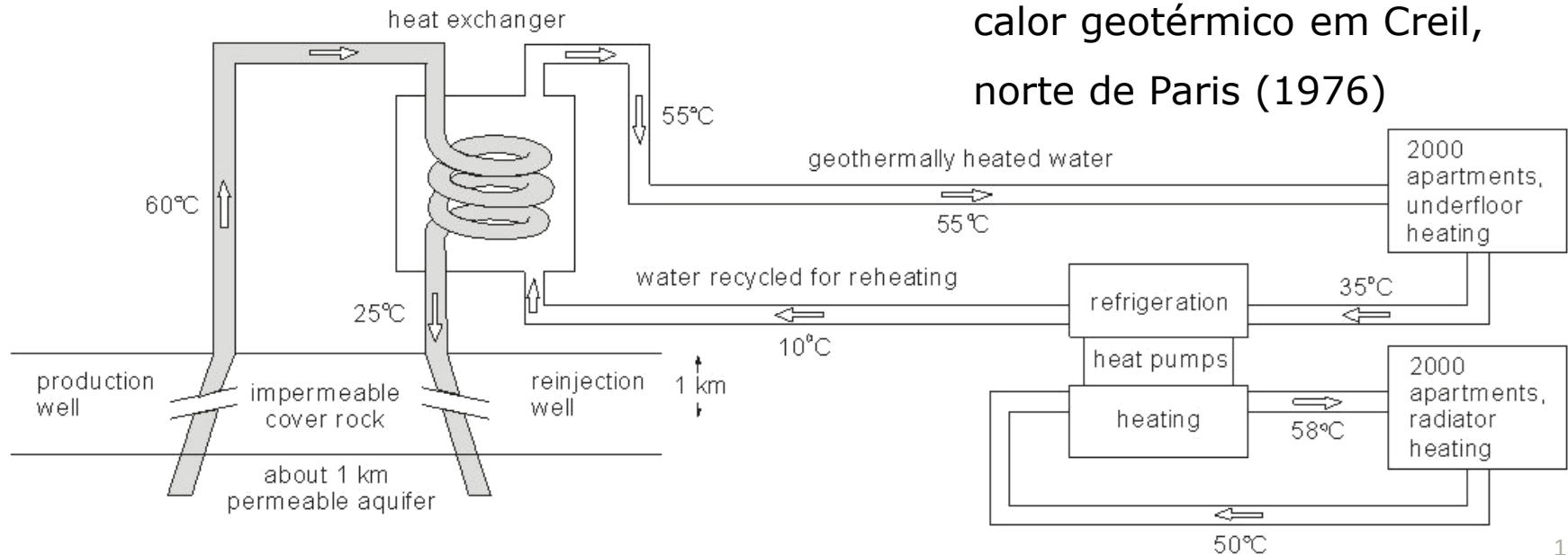
## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor
- com ou sem bombas de calor

### Sistema de distribuição de calor geotérmico em Creil, norte de Paris (1976)

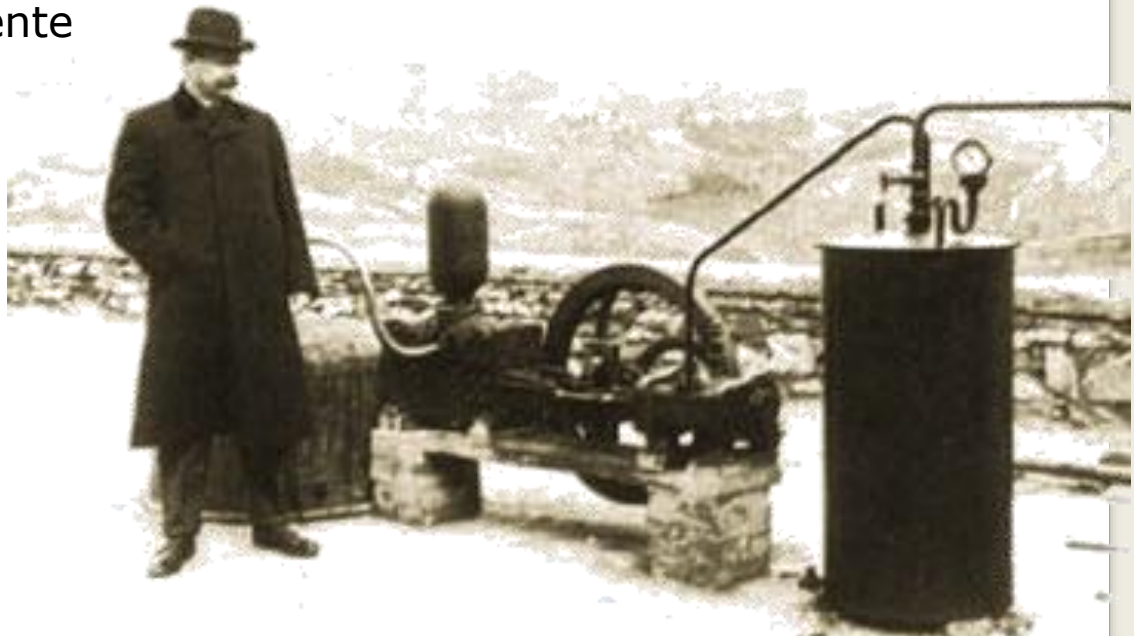


## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor  
com ou sem bombas de calor
- produção de electricidade  
usando o vapor directamente



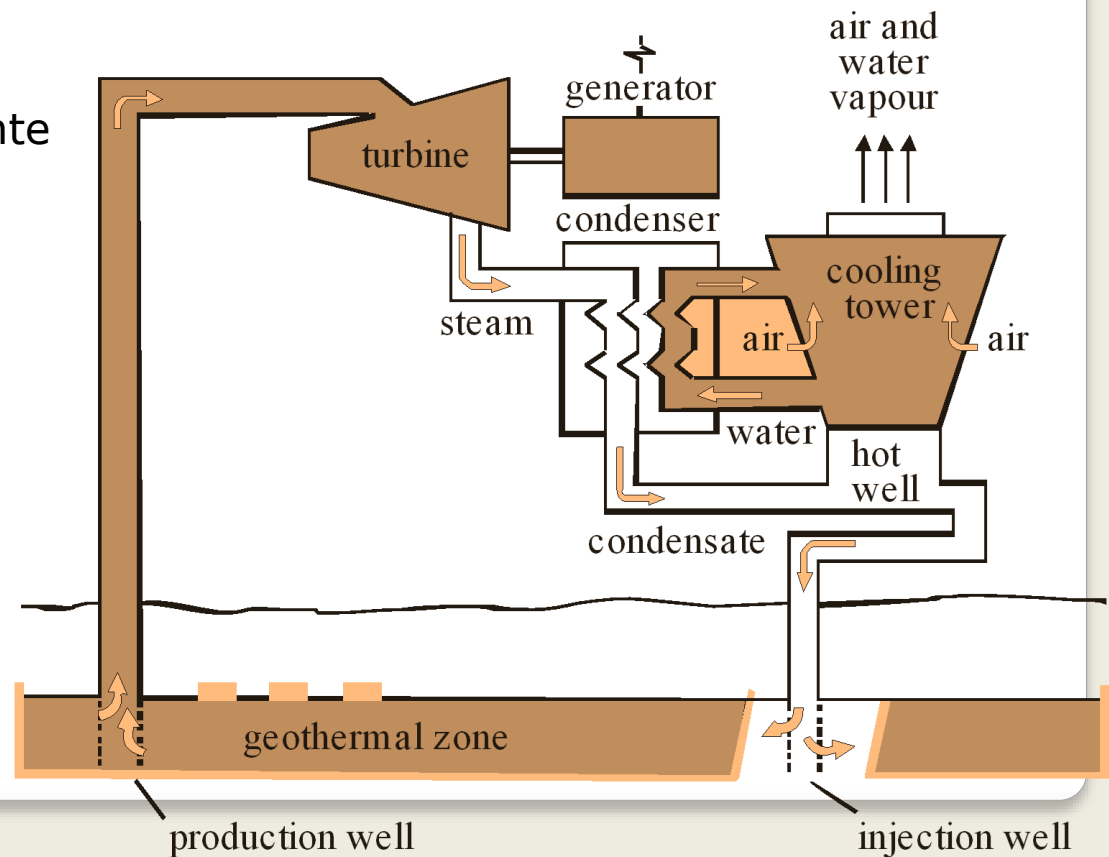
Geração electricidade em Larderello, Itália (1904 )  
e o seu inventor, Príncipe Piero Ginori Conti.

## Energia geotérmica

### Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

- produção de calor  
com ou sem bombas de calor
- produção de electricidade  
usando o vapor directamente



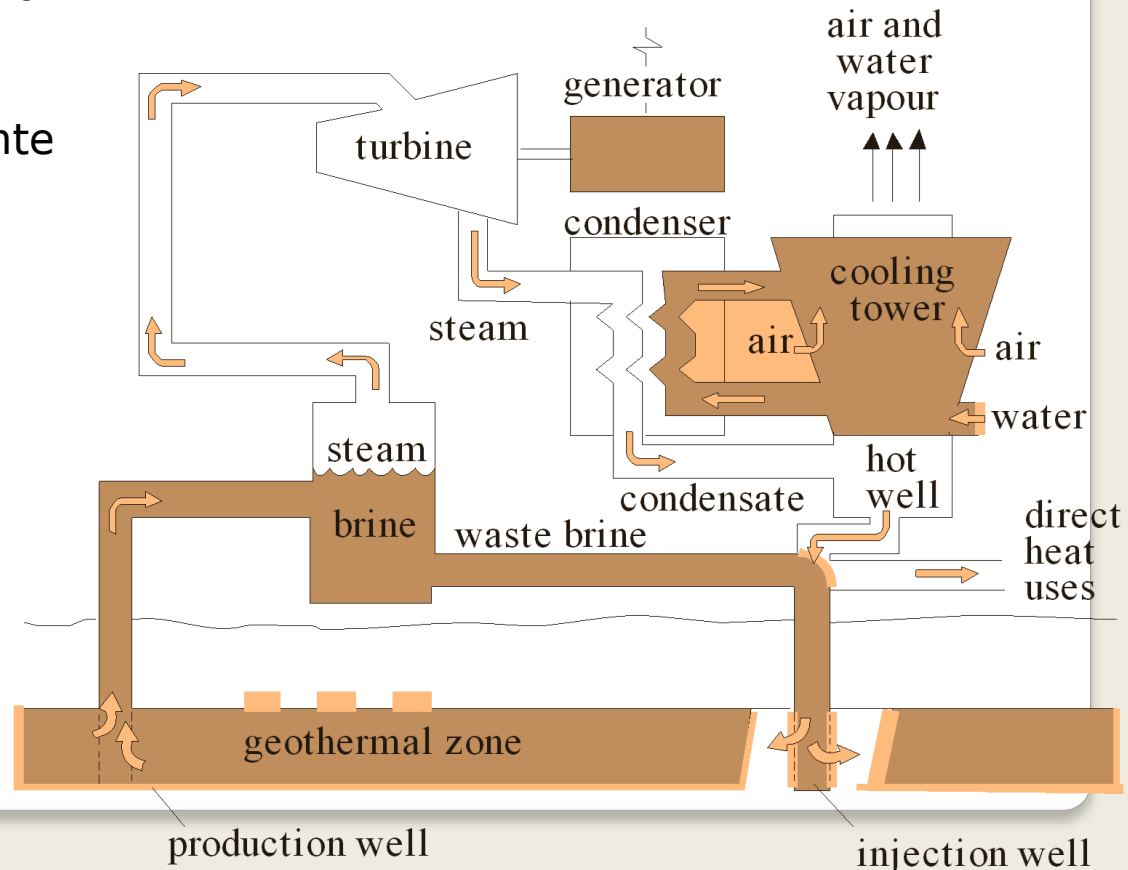
# Energia geotérmica

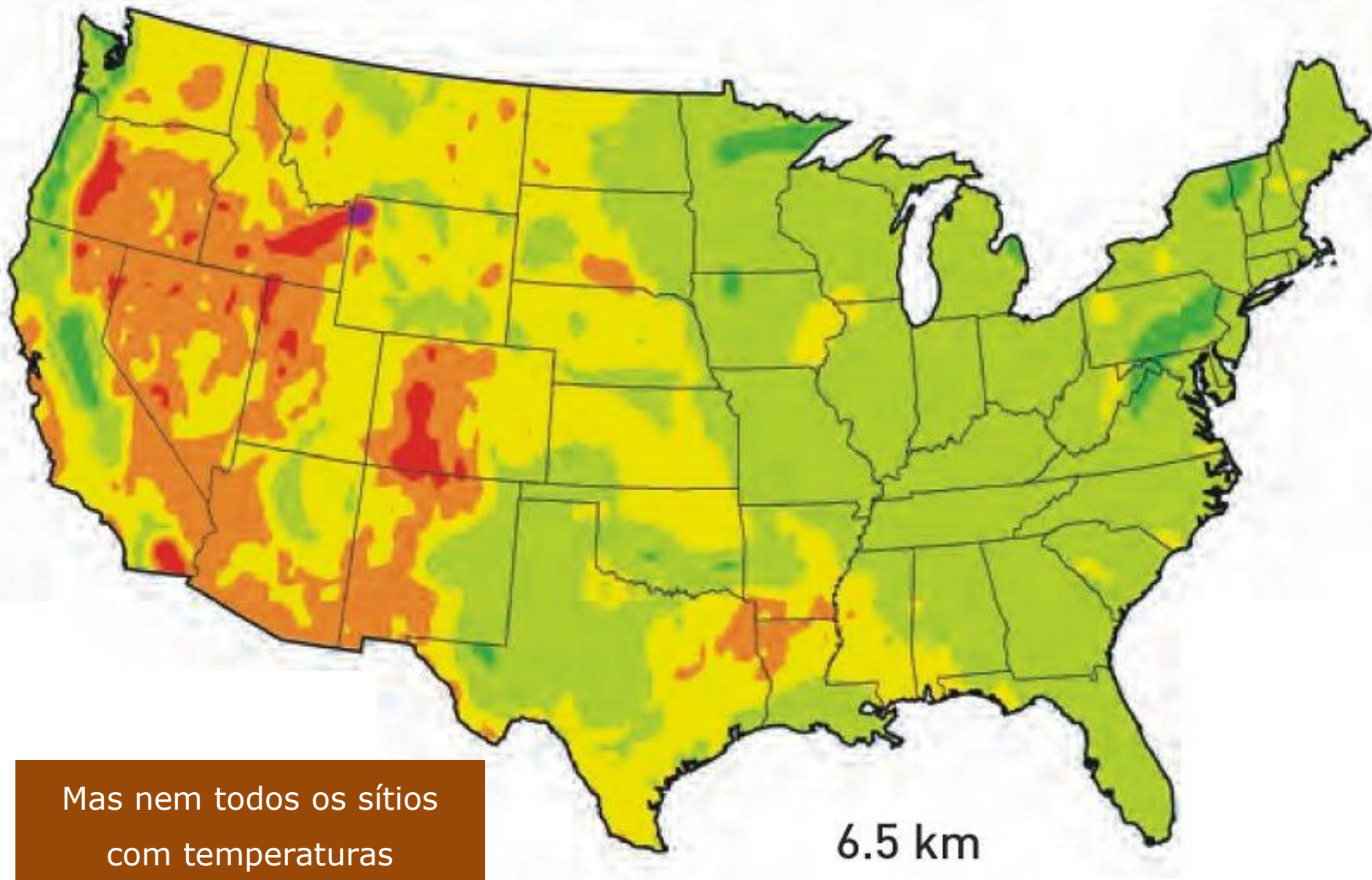
## Aproveitamento hidrotermal

Pode ser aproveitado para

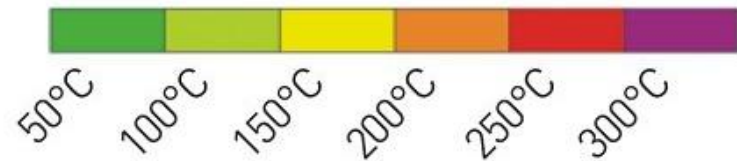
- produção de calor  
com ou sem bombas de calor
- produção de electricidade  
usando o vapor directamente  
ou a partir da água líquida

Mas nem todos os sítios  
com temperaturas  
interessantes têm  
água/vapor disponível.

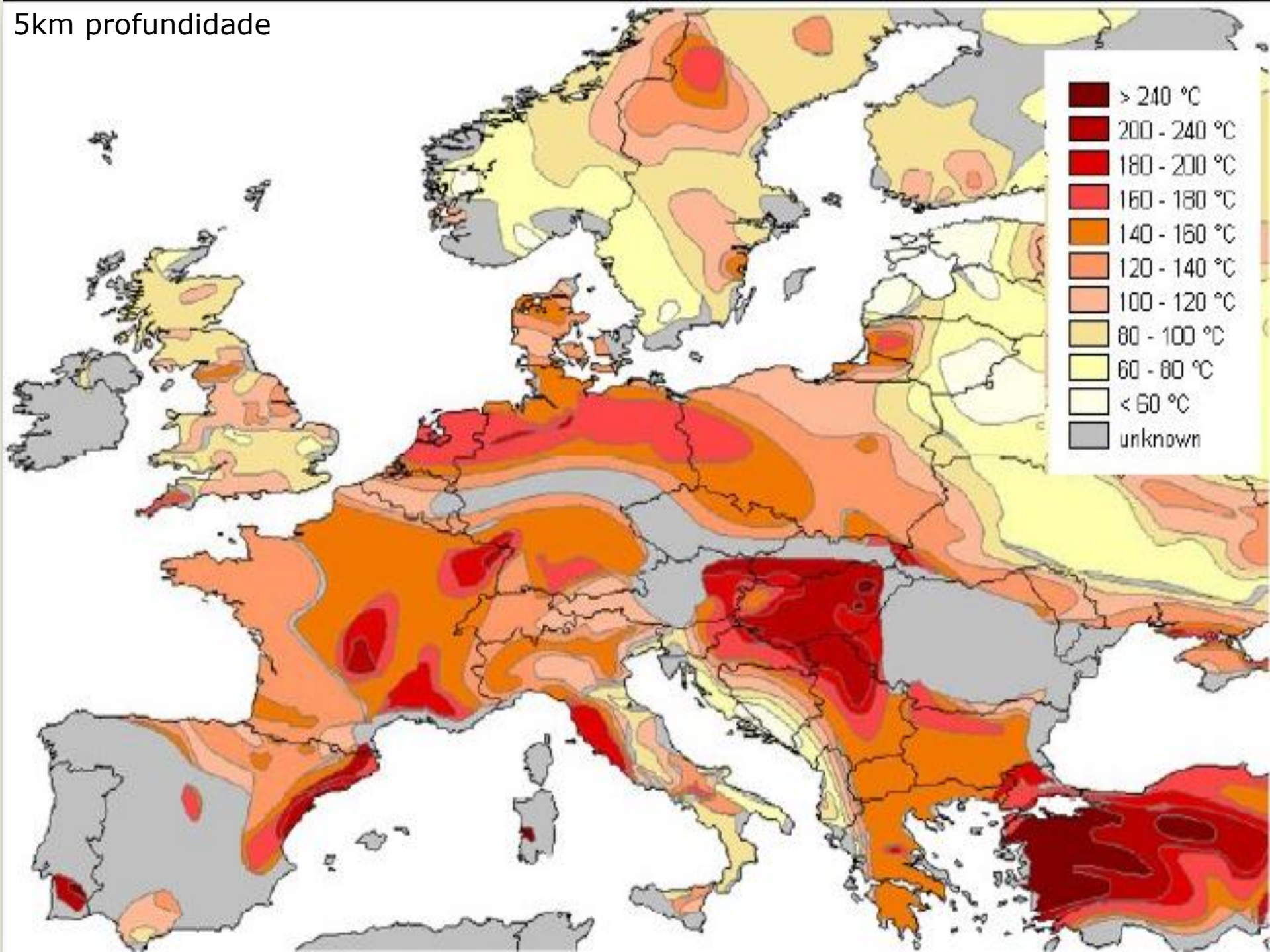




Mas nem todos os sítios  
com temperaturas  
interessantes têm  
água/vapor disponível.



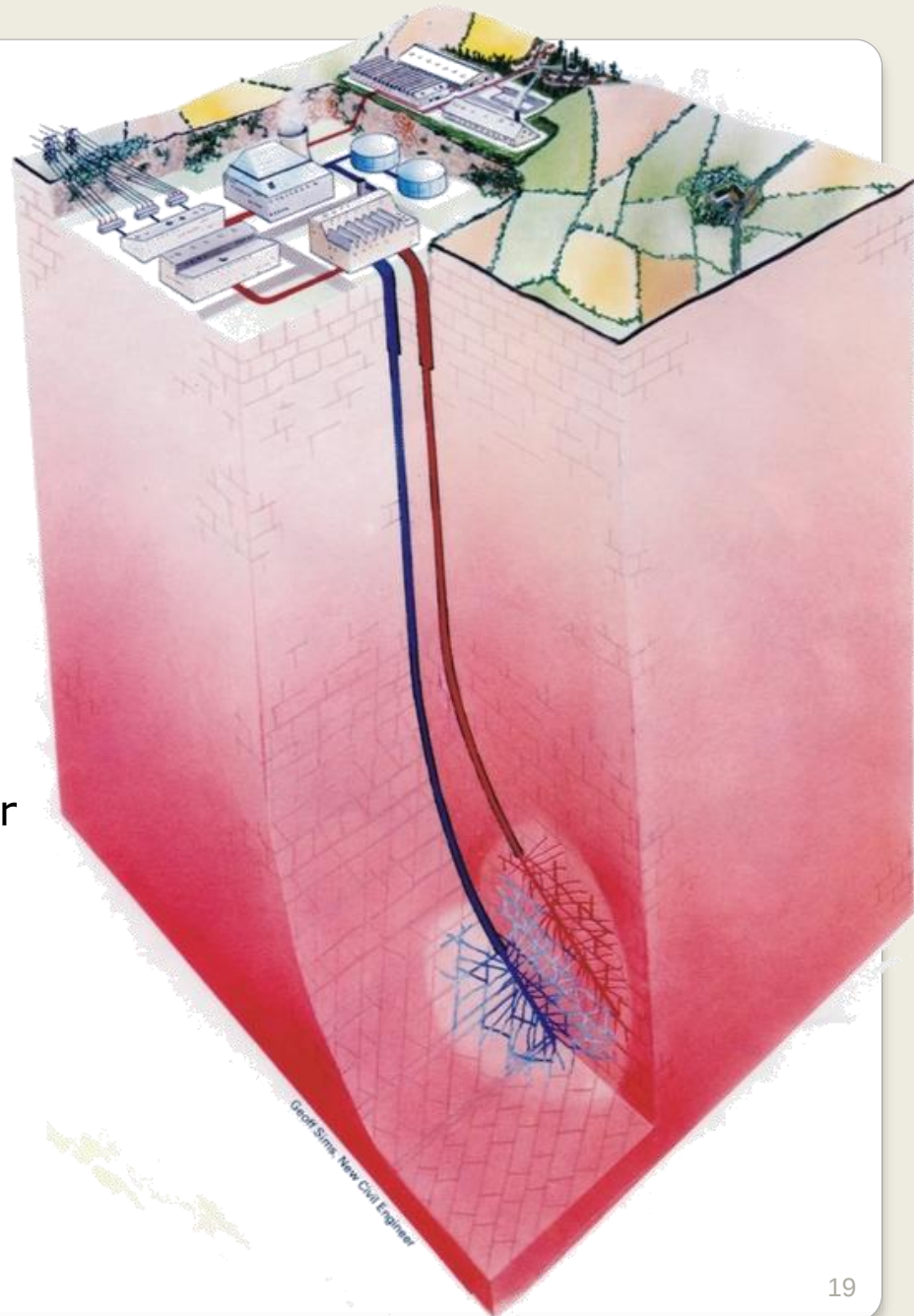
5km profundidade



## Energia geotérmica

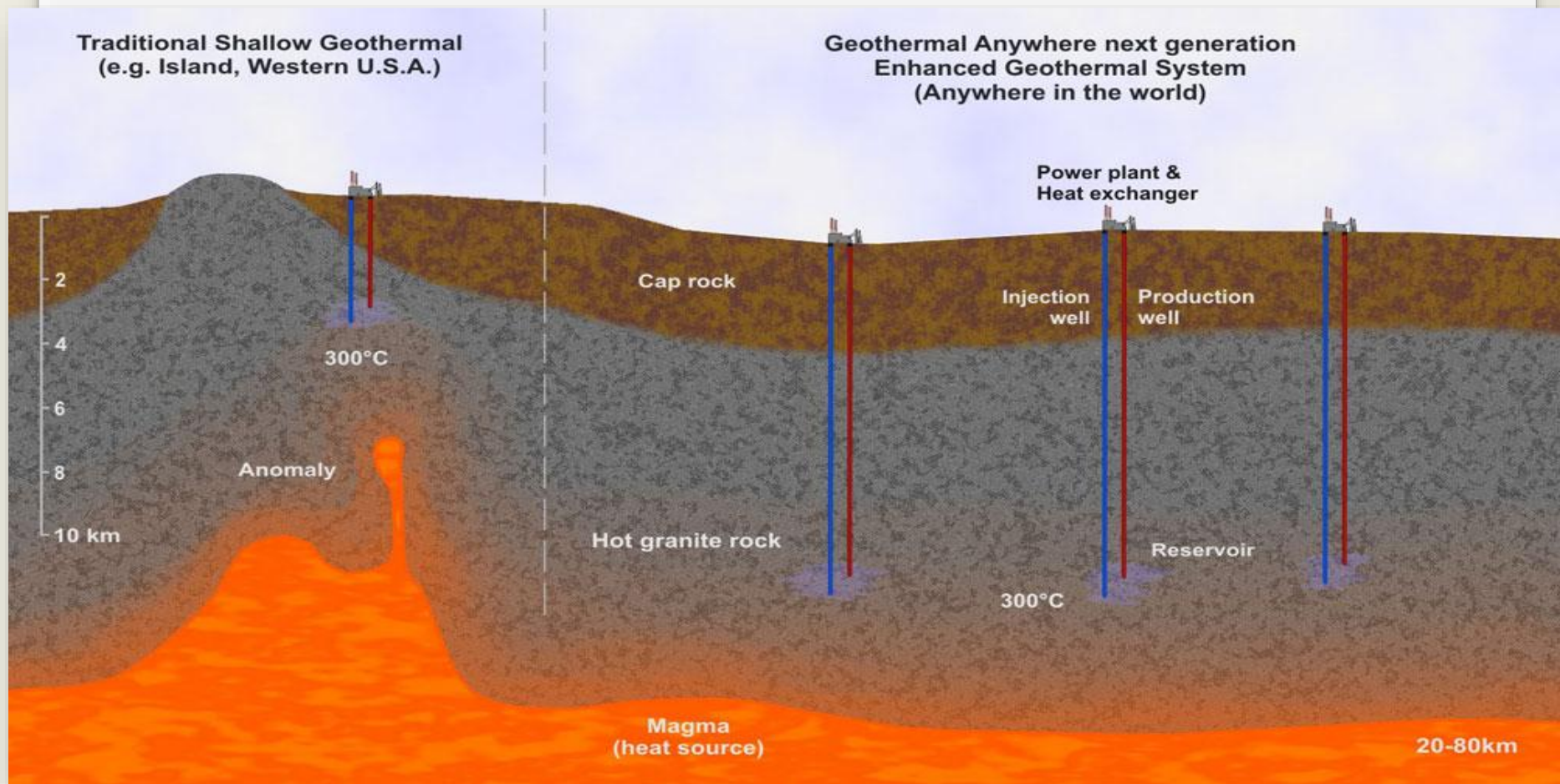
EGS – Enhanced geothermal system

1. **Furo de injeção**, por onde será injectada água
2. **Fractura** da rocha no fundo (*hydrofracturing*, por injeção de água sob pressão), para aumentar área efectiva de transferência de calor entre rocha/água
3. **Furo de extracção**, por onde será retirada água aquecida

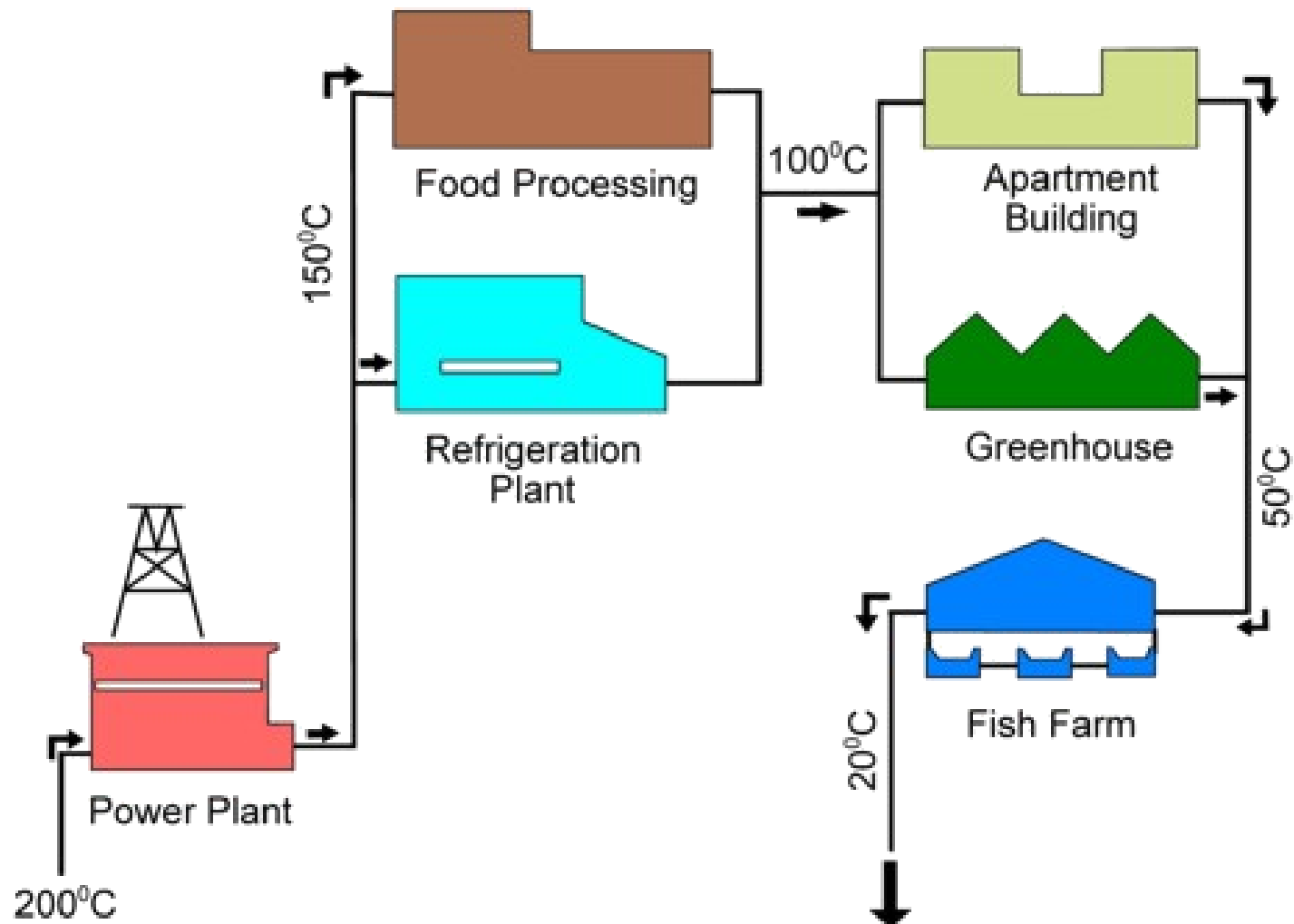


# Energia geotérmica

## EGS – Enhanced geothermal system

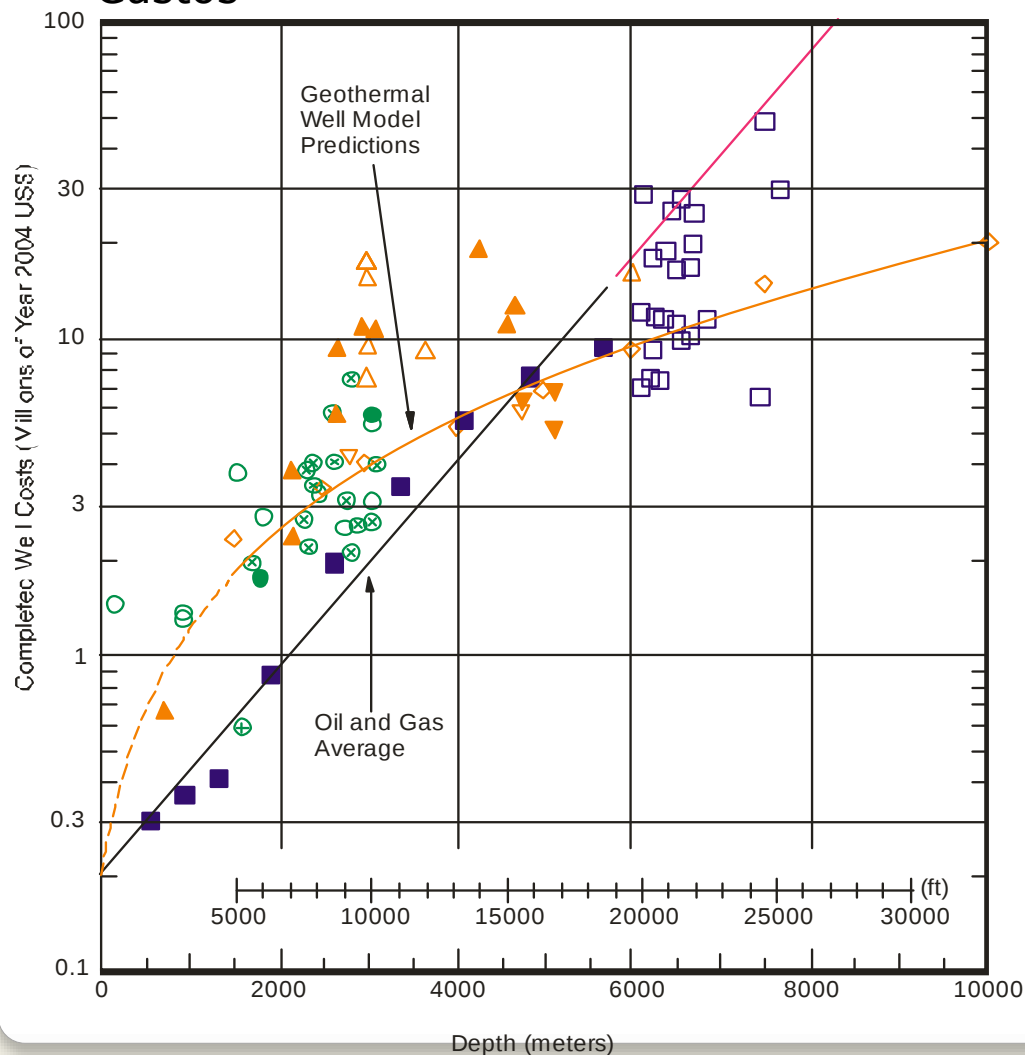


## Energia geotérmica



# Energia geotérmica

## Custos



Custos associados sobretudo à furação.

- JAS Oil and Gas Average
- JAS Ultra Deep Oil and Gas
- The Geysers Actual
- ⊕ Imperial Valley Actual
- ⊗ Other Hydrothermal Actual
- Hydrothermal Predicted
- ▲ HDR/EGS Actual
- △ HDR/EGS Predicted
- ▼ Soultz/Cooper Basin
- Wellcost Lite Model
- ◇ Wellcost Lite Base Case
- ▽ Wellcost Lite Specific Wells

## **Energia geotérmica**

Considerações ambientais

## Energia geotérmica

### Considerações ambientais

- Emissão de **gases tóxicos** em suspensão/solução nos fluídos geotermiais
- **Contaminação** águas subterrâneas
- Se em larga escala, **abatimento** do solo ou micro-terramotos
- EGS pode estar associado a **terramotos**

NEWS | 26 April 2018

# South Korea's most-destructive quake probably triggered by geothermal plant

Researchers say the 2017 disaster is a potential game-changer for the geothermal energy industry.

A magnitude-5.4 earthquake that struck the South Korean city of Pohang on 15 November 2017 was probably triggered by an experimental geothermal power plant injecting water a few kilometres underground, a research team reports. A second independent analysis also finds the plant's involvement to be plausible.



## Energy production causes big US earthquakes

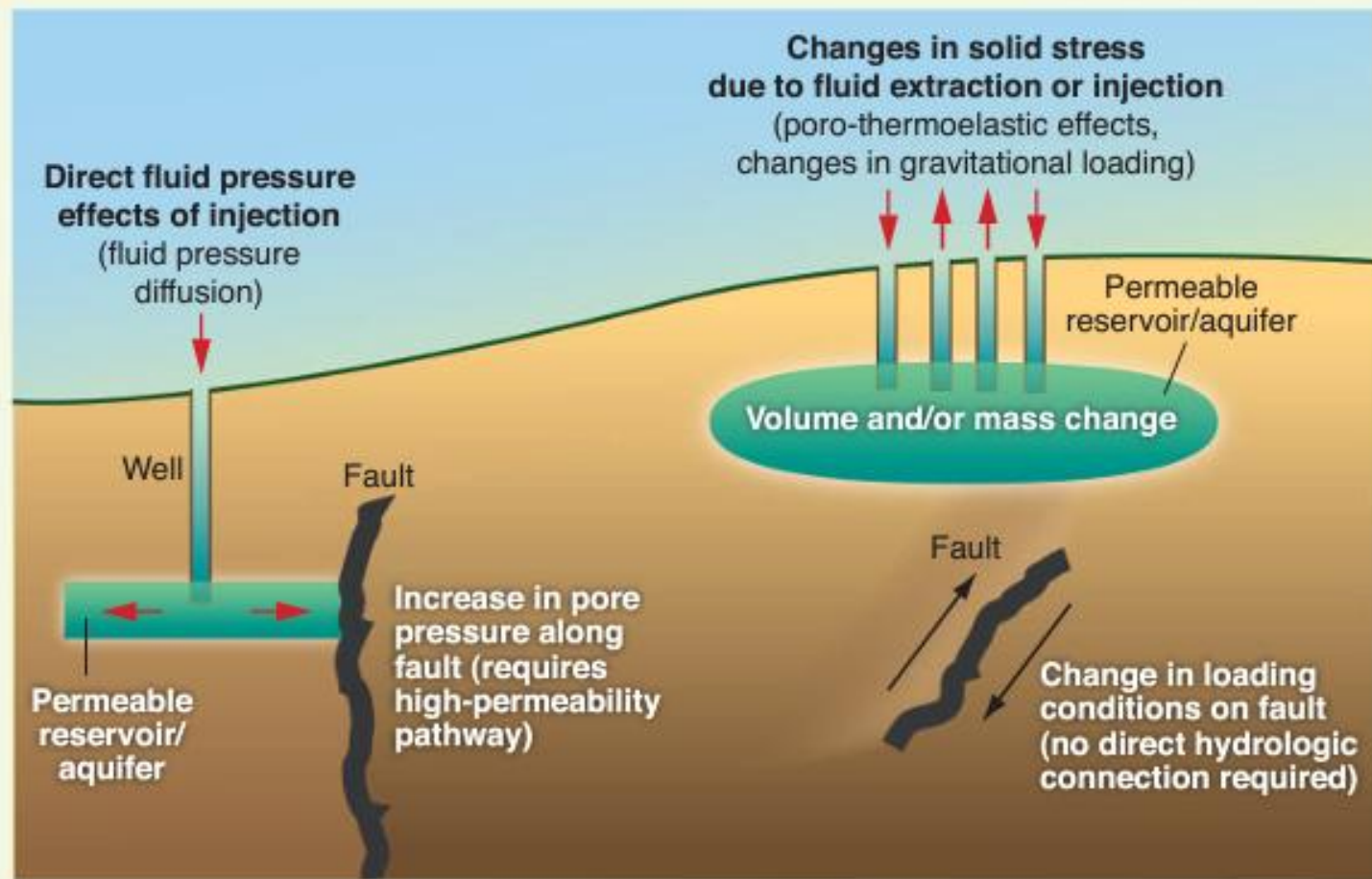
[Richard A. Lovett](#)[Nature](#) (2013) | [Cite this article](#)387 Accesses | 377 Altmetric | [Metrics](#)

Fluids injected into wells lubricate faults and increase slippage.

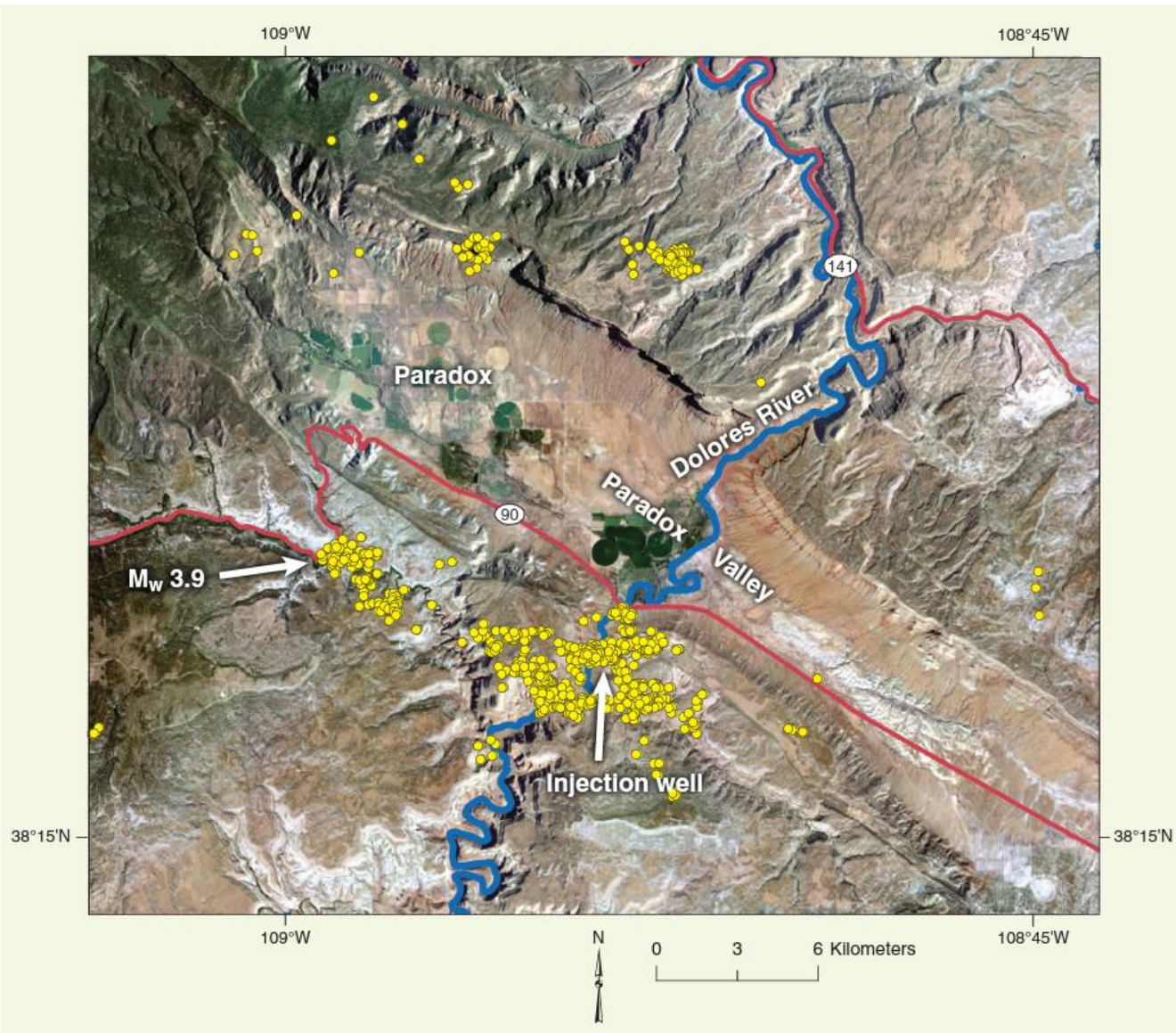


Large tremors, like the magnitude 8.8 earthquake that struck Pelluhue, Chile, in 2011, can spawn quakes at US well-injection sites. Credit: Ivan Alvarado/Reuters

Natural-gas extraction, geothermal-energy production and other activities that inject fluid underground have caused numerous earthquakes in the United States, scientists report today in a trio of papers in *Science*<sup>1,2,3</sup>.



**Fig. 3. Schematic diagram of mechanisms for inducing earthquakes.** Earthquakes may be induced by increasing the pore pressure acting on a fault (**left**) or by changing the shear and normal stress acting on the fault (**right**). See (4).



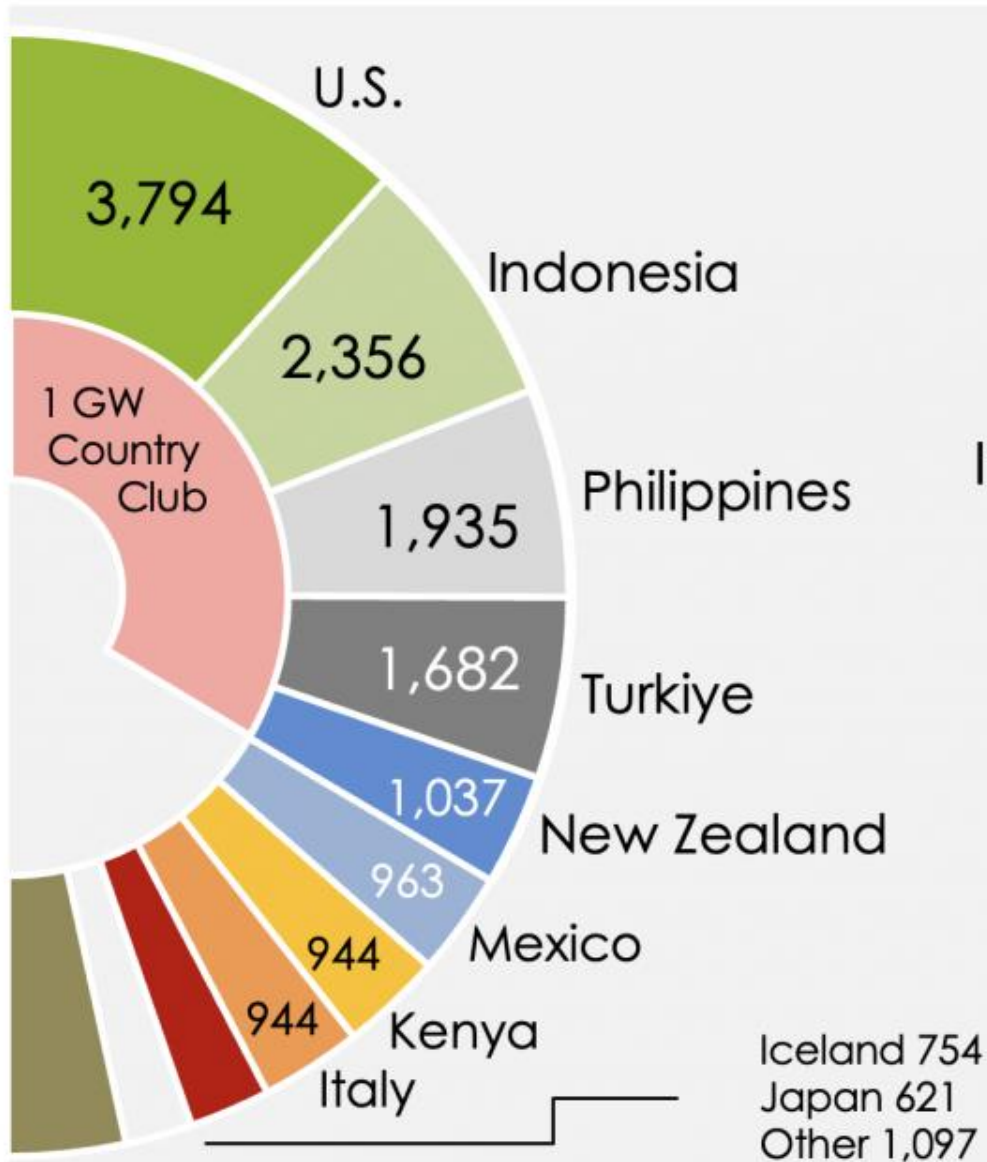
**Fig. 5. Seismicity near Paradox Valley, Colorado.** The U.S. Bureau of Reclamation extracts saline groundwater from shallow wells where the Dolores River crosses Paradox Valley to prevent its entry into the Colorado River system. Since 1996, the

brine has been disposed of by injection into a 4.3-km-deep UIC class V well. Injection has induced more than 1500 earthquakes with  $M \geq 1$ , including the  $M_w$  3.9 earthquake on 25 January 2013, which was located 8 km northwest of the well.

# Top 10 Geothermal Countries 2022

Installed Capacity in MWe  
January 2023

**Total 16,127 MW**

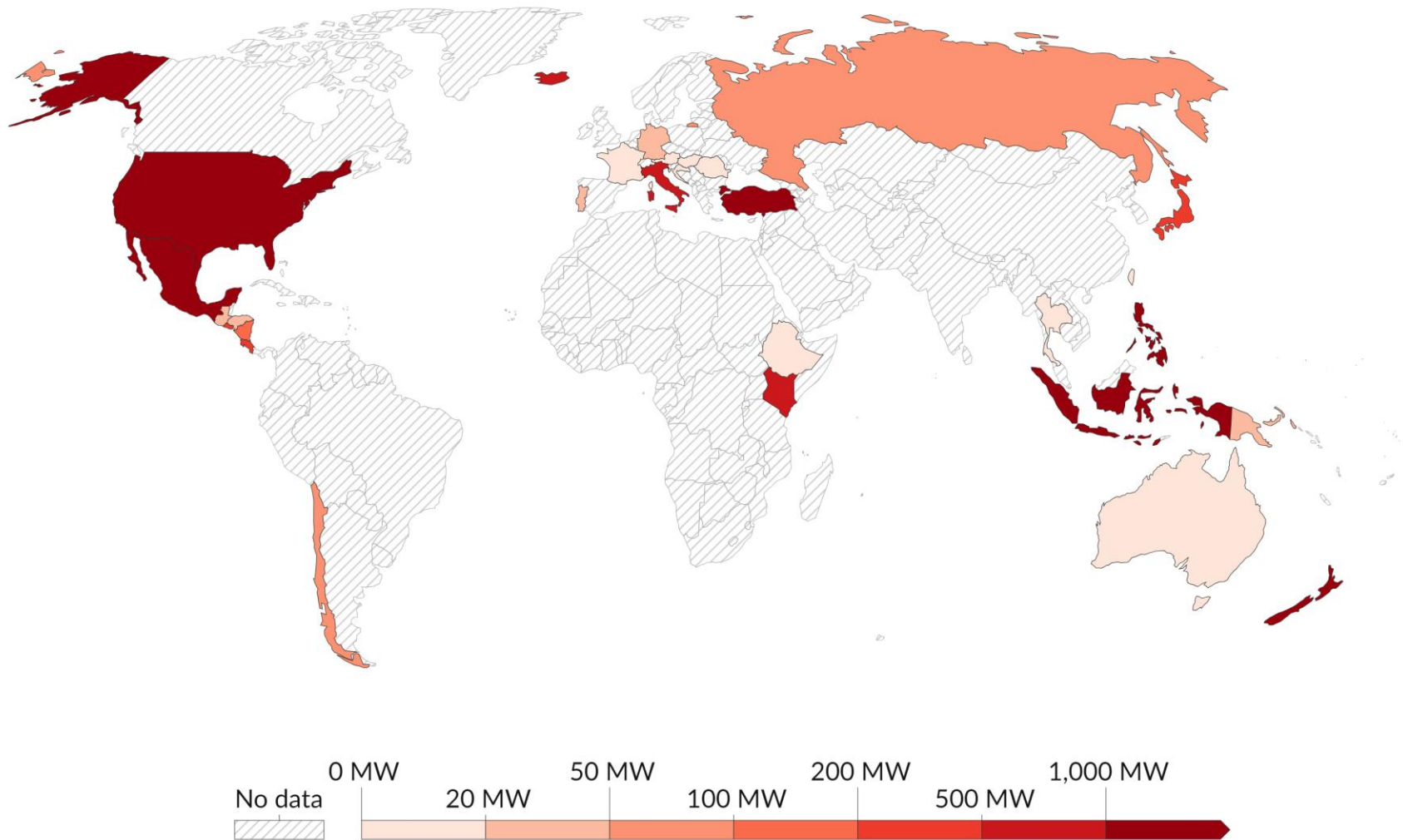


**THINK  
GEOENERGY**

Source: ThinkGeoEnergy Research (2023)

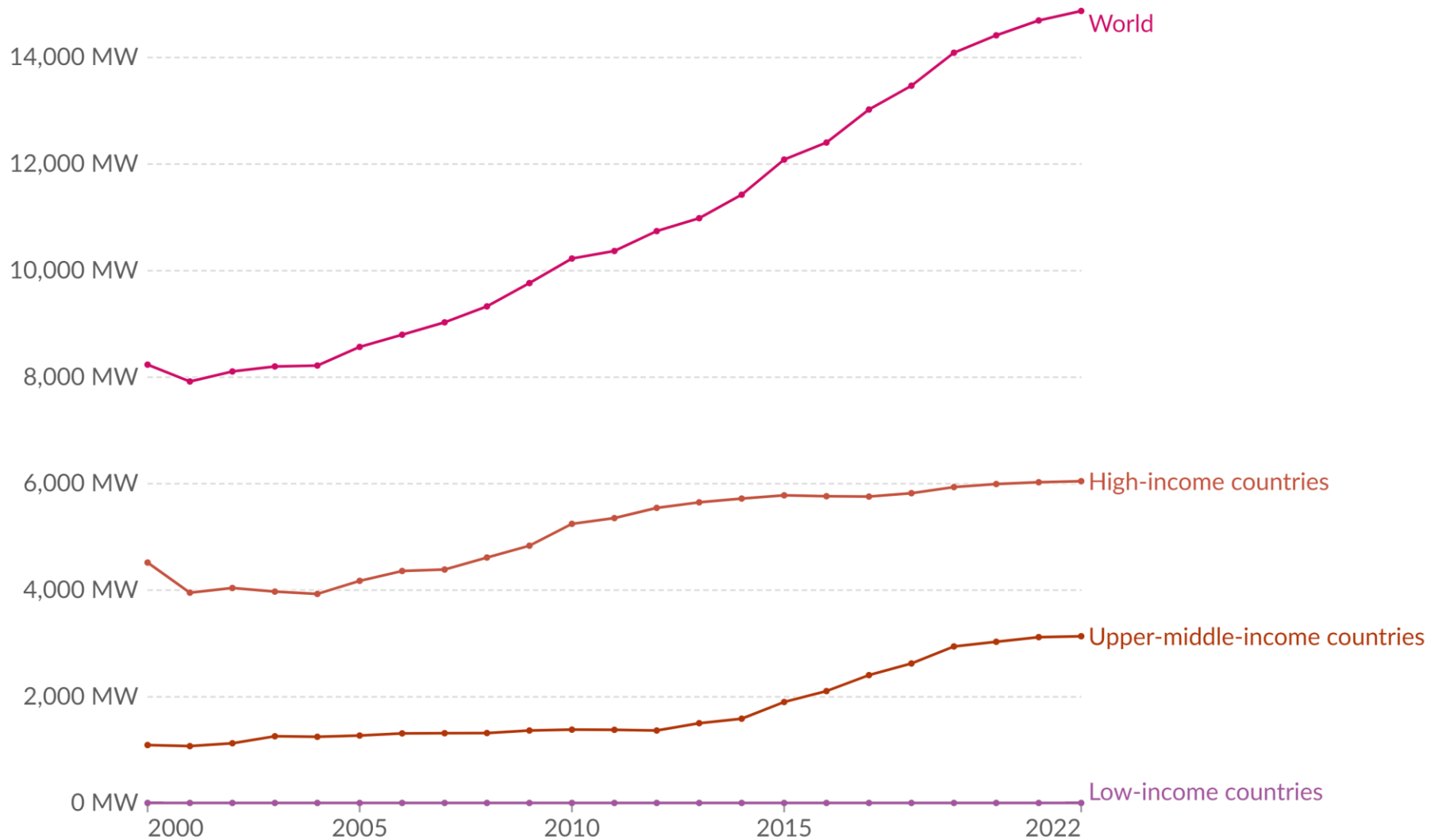
# Installed geothermal energy capacity, 2022

Cumulative installed capacity of geothermal energy, measured in megawatts.



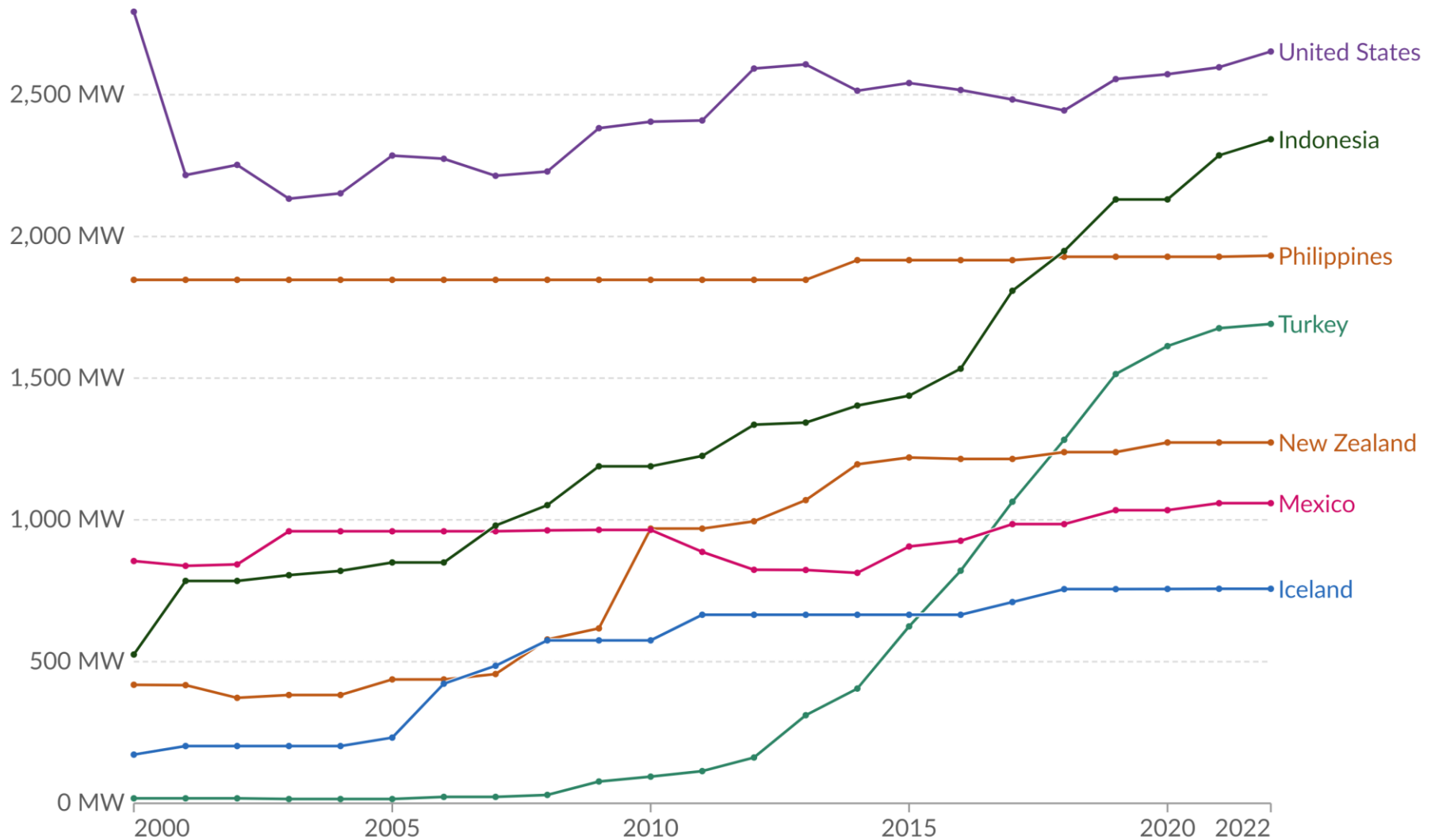
# Installed geothermal energy capacity

Cumulative installed capacity of geothermal energy, measured in megawatts.



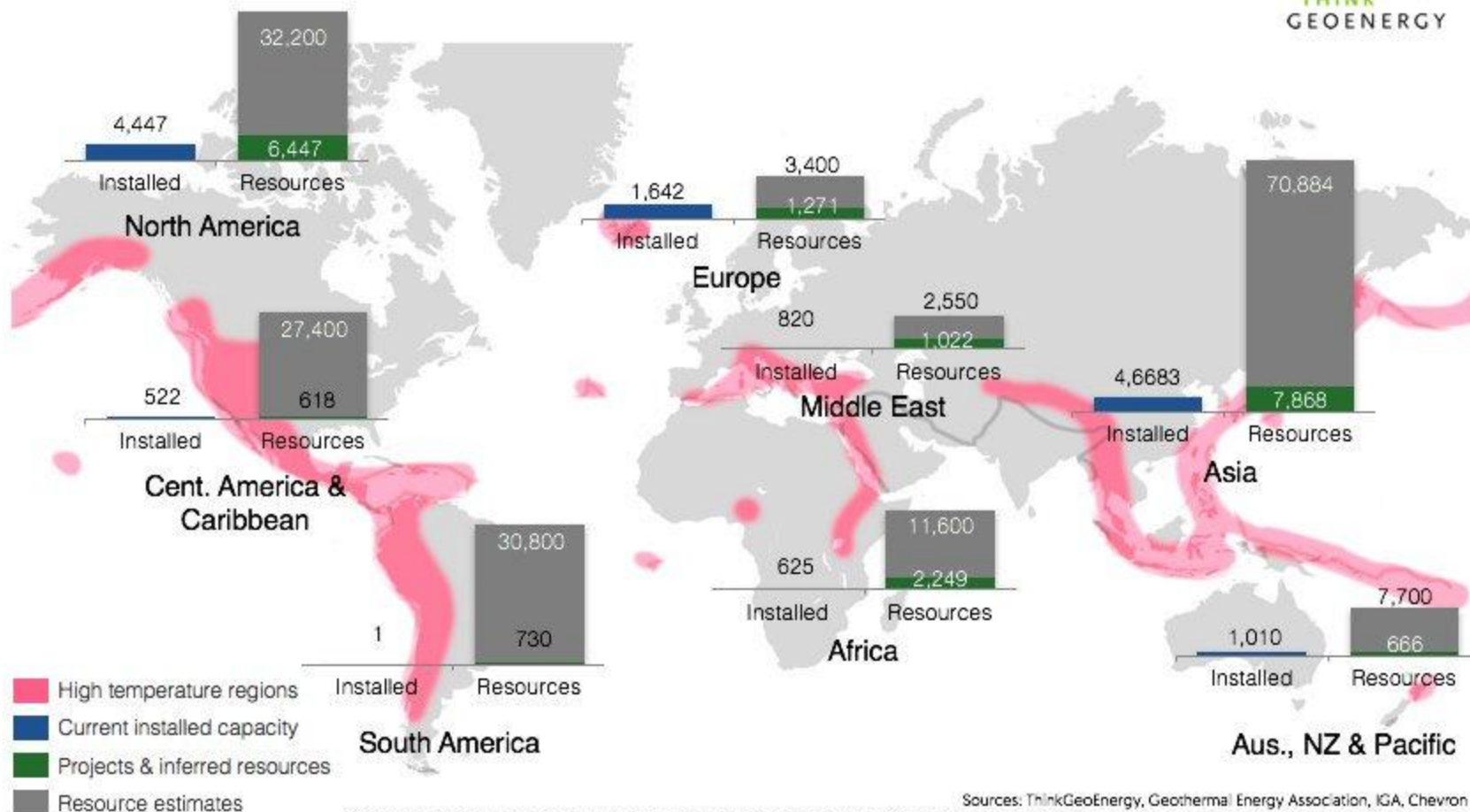
# Installed geothermal energy capacity

Cumulative installed capacity of geothermal energy, measured in megawatts.



# GLOBAL GEOTHERMAL POTENTIAL

## POWER GENERATION POTENTIAL (MWe)



Sources: ThinkGeoEnergy, Geothermal Energy Association, IGA, Chevron  
 Note: Installed Capacity of 2017 [2015], resource estimates combined [1999-2012] – IGA estimates a conservative total potential of 70,000 MWe and with technology improvements (extended use of low heat and EGS resources) at around 140,000 MWe in power generation capacity.

## Energia geotérmica

Em Portugal

### Continental

- aproveitamento de **pólos termais** existentes  
(com temperaturas entre os 20 e os 76° C)  
Chaves e S. Pedro do Sul
- aproveitamento de **aquíferos profundos** de bacias sedimentares  
Hospital da Força Aérea do Lumiar, em Lisboa (1992)  
furo de 1500m com temperaturas superiores a 50° C.

## Energia geotérmica

### Em Portugal

#### **Açores**

- confluência de 3 placas tectónicas (americana, africana, euroasiática)
- 9 sistemas electroprodutores de pequena escala: **235 MWth**
- São Miguel (Ribeira Grande)
  - 2 centrais com 23 MW

Central Geotérmica Piloto de Pico Vermelho 3 MW(1980) nunca funcionou acima de 900kW



## Energia geotérmica

### Em Portugal

#### **Açores**

- confluência de 3 placas tectónicas (americana, africana, euroasiática)
- 9 sistemas electroprodutores de pequena escala: **235 MWth**
- São Miguel (Ribeira Grande)
  - 2 centrais com 23 MW



Central Geotérmica da Ribeira Grande  
5 MW (1994) + 8 MW (1998)



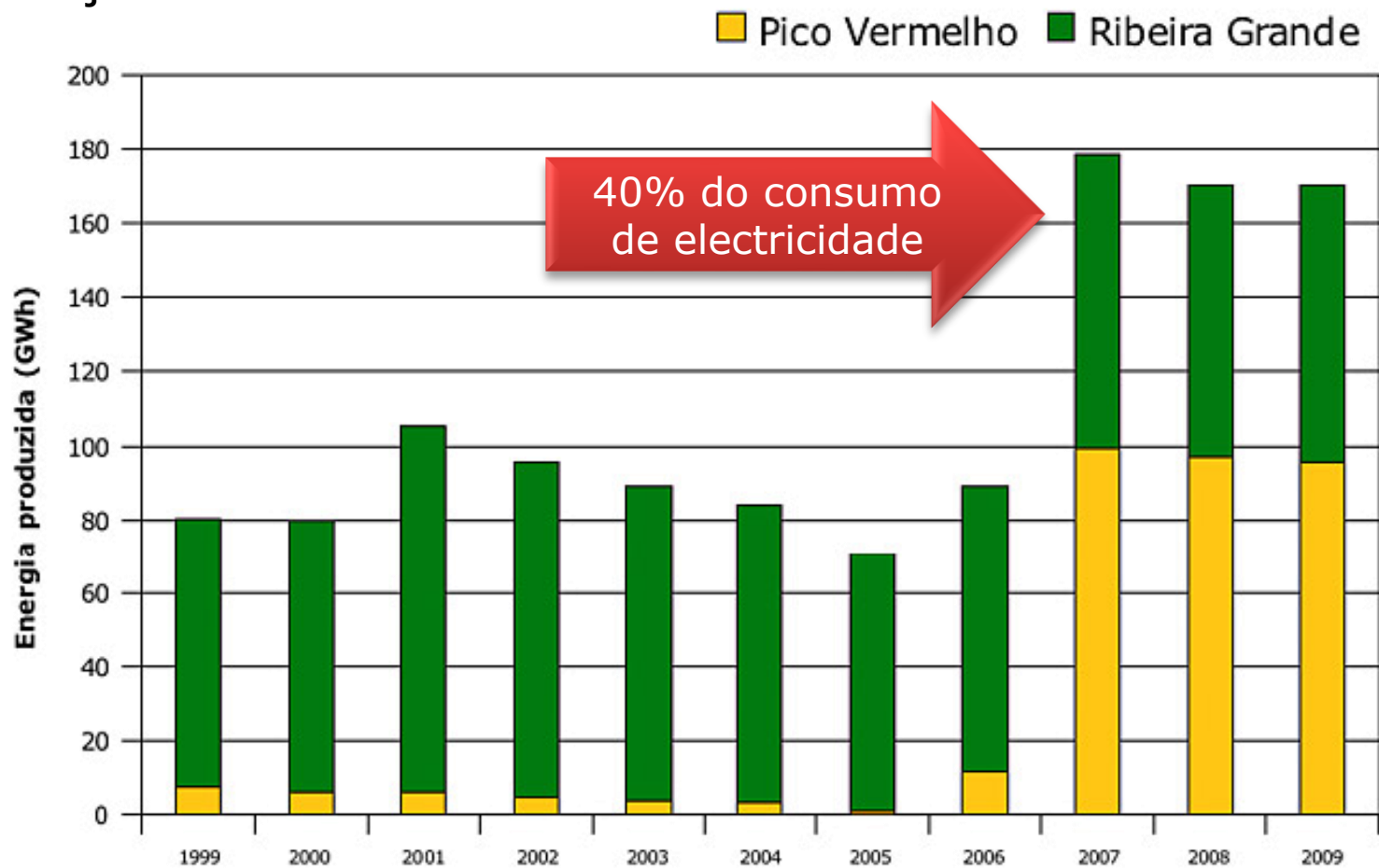
Central Geotérmica  
de Pico Vermelho  
10 MW (2007)

Previstos mais  
5 MW até 2024

# Energia geotérmica

Em Portugal

## Açores





### **CALDAS DE CHAVES** 73°C

O aproveitamento geotérmico iniciou-se na década de 80 do séc. XX.

Foi em Portugal Continental o primeiro projeto de utilização do calor numa rede de aquecimento urbano, para climatização e produção de água quente sanitária de dois hotéis e do edifício termal e ainda para aquecimento de uma piscina.

### **CALDAS DE VIZELA** 50°C

Os caudais excedentes são utilizados no aquecimento de uma piscina e na climatização e produção de água quente sanitária de um hotel localizado nas imediações das termas.

### **LONGROIVA** 47°C

O recurso geotérmico é utilizado para climatização do balneário termal e ainda para a produção de AQS e aquecimento da piscina exterior do hotel rural situado nas proximidades.



### **TERMAS DO CARVALHAL** 60°C

Estão em curso estudos diversos tendo em vista o desenvolvimento de projetos para aproveitamento geotérmico.

### **TERMAS DE S. PEDRO DO SUL** 69°C

O aproveitamento geotérmico iniciou-se há três décadas. O **Polo das Termas**, em funcionamento desde 2001, dispõe de uma **central geotérmica** para climatização e produção de AQS de dois balneários termais e de dois hotéis.

No **Polo do Vau**, localizado a cerca de 2 km a sul de São Pedro do Sul, o geocalor foi já utilizado diretamente para o aquecimento de estufas de frutos tropicais, encontrando-se atualmente em reformulação.

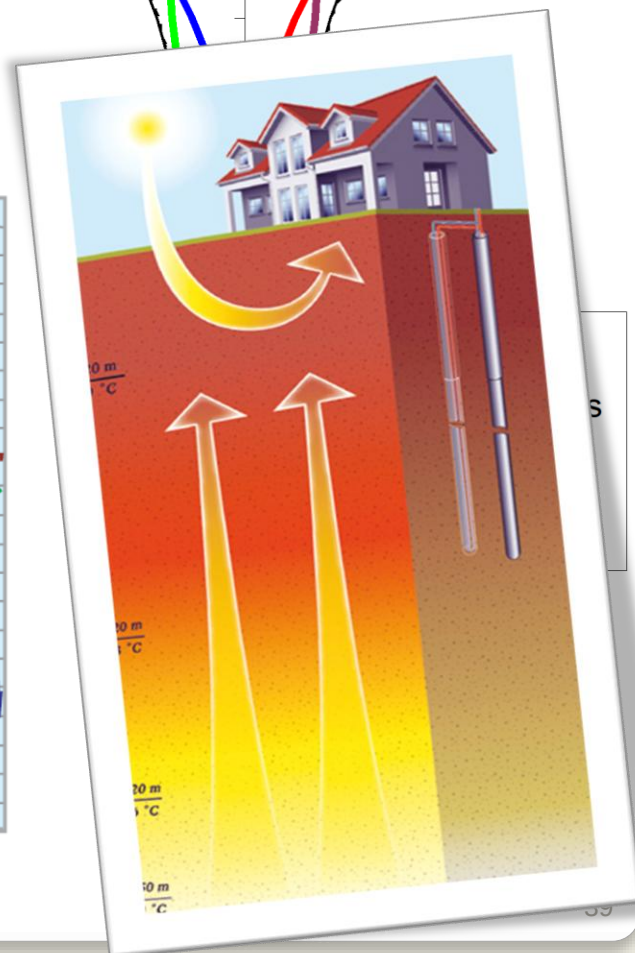
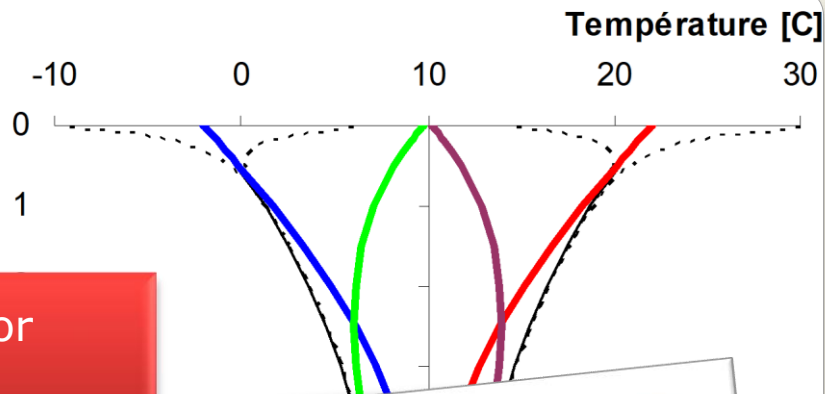
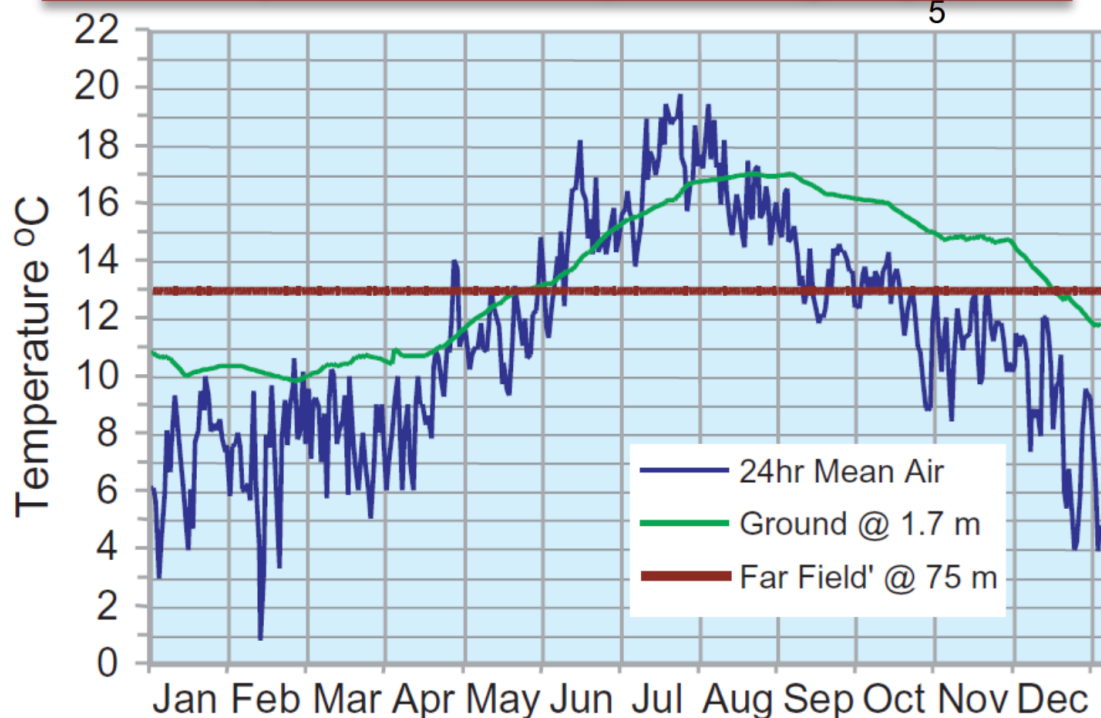
### **BANHO DE ALCAFACHE** 51°C

O estabelecimento termal é, desde 2003, climatizado a partir do recurso geotérmico com 51°C de temperatura.

## Energia geotérmica

### Aproveitamento baixa entalpia

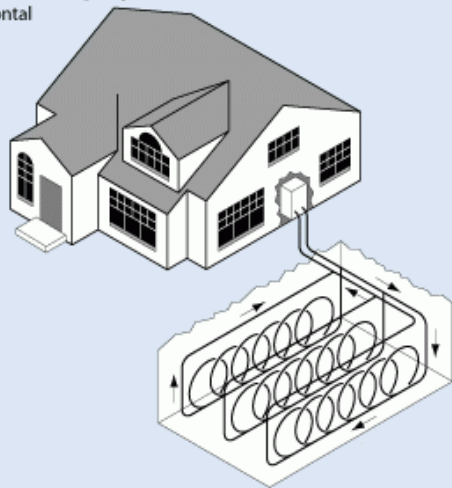
Usualmente associado a bombas de calor para produção de calor para climatização. Também pode ser usado para refrigeração.



Variação da temperatura do solo muito menor do que na superfície

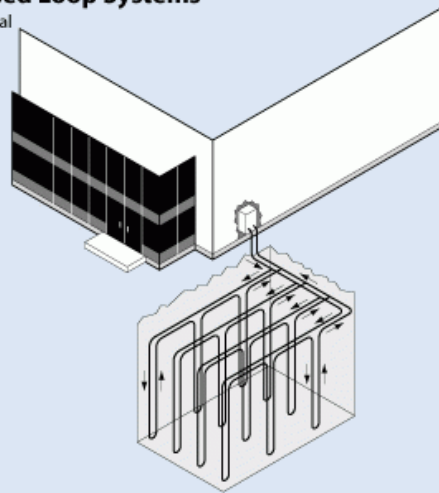
### Closed Loop Systems

Horizontal



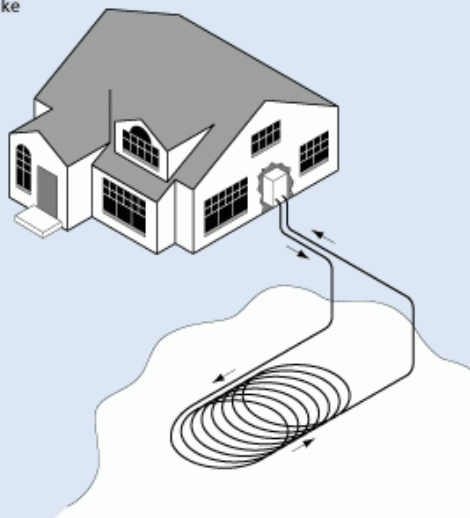
### Closed Loop Systems

Vertical

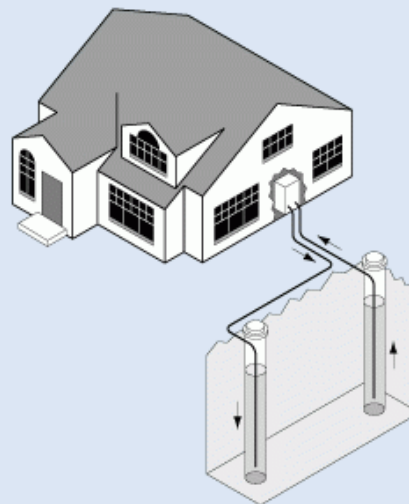


### Closed Loop Systems

Pond/Lake



### Open Loop Systems





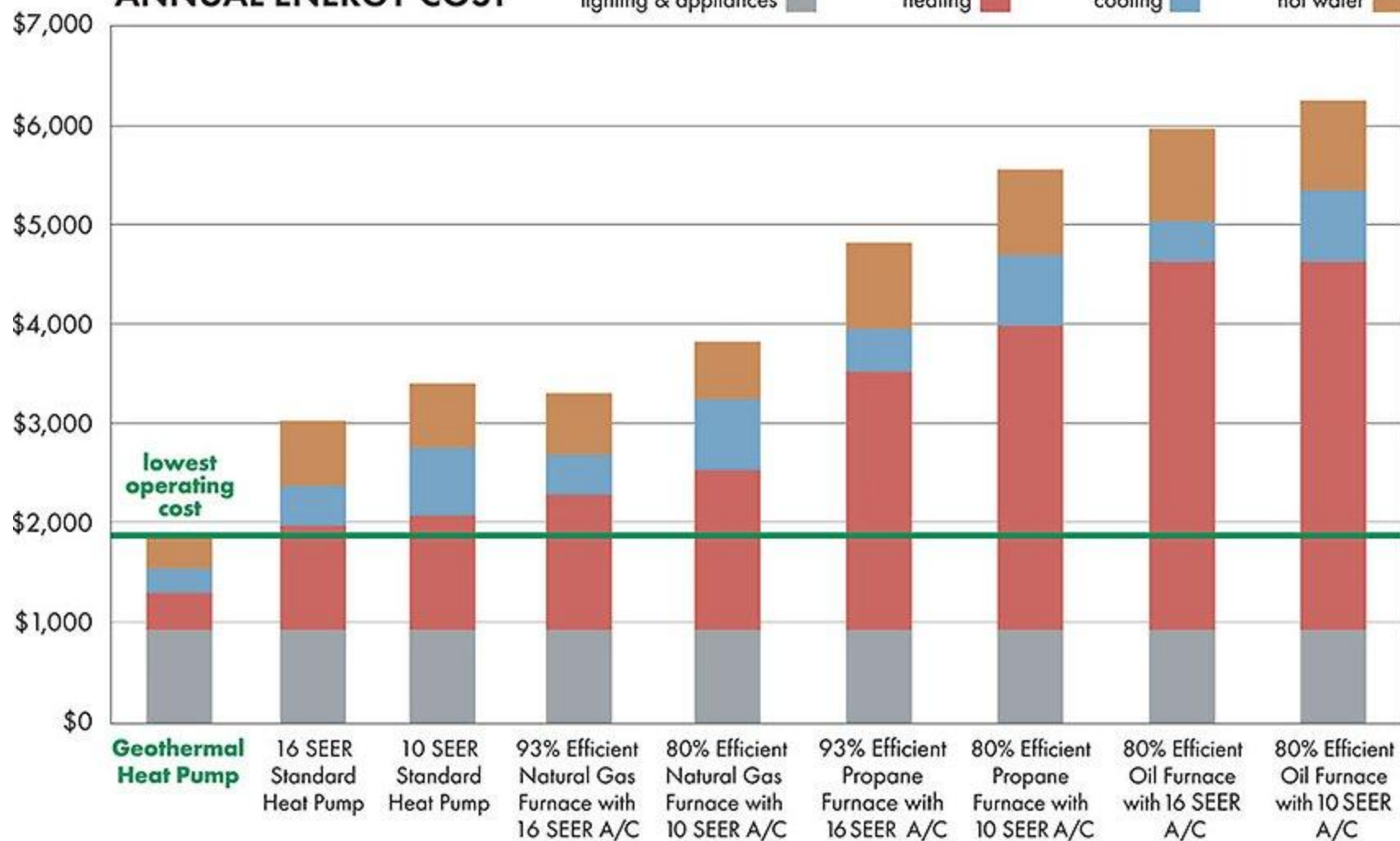
## ANNUAL ENERGY COST

lighting & appliances

heating

cooling

hot water



Calculations are based upon current utility costs for a typical home in the U.S. Midwest