

La Geotermia en el Ámbito Académico: Situación Actual, desafíos y potencialidades en las Carreras Universitarias de Geociencias en la Región Centroamericana



LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Facultad de Ciencias

Cooperación Técnica entre el Sistema de Integración
Centroamericana y el Instituto Federal de Geociencias
y Recursos Naturales BGR y GIZ



Salvador Ortuño Arzate
Tegucigalpa, Honduras; Octubre de 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

La Geotermia en el Ámbito Académico: Situación Actual, desafíos y potencialidades en las Carreras Universitarias de Geociencias en la Región Centroamericana

CONTENIDO GENERAL

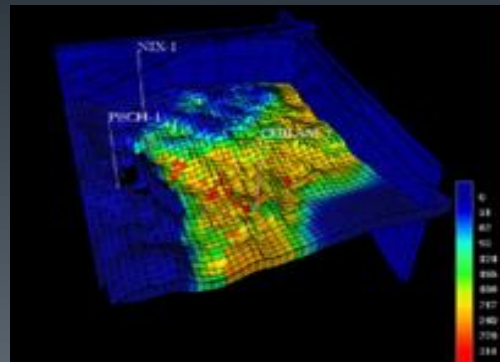
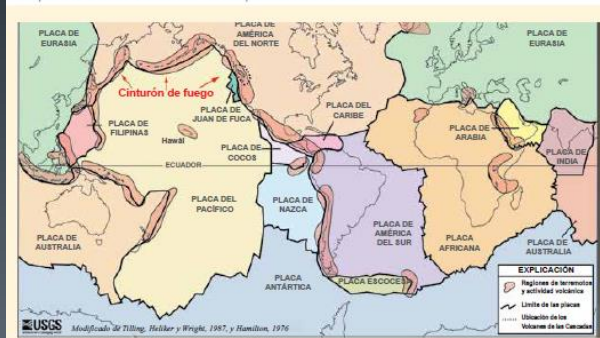
I.- El mundo del petróleo; las contingencias actuales;

II.- Los impactos ambientales; la necesidad de un cambio energético;

III.- La energía geotérmica: formación y capacitación de cuadros científicos;

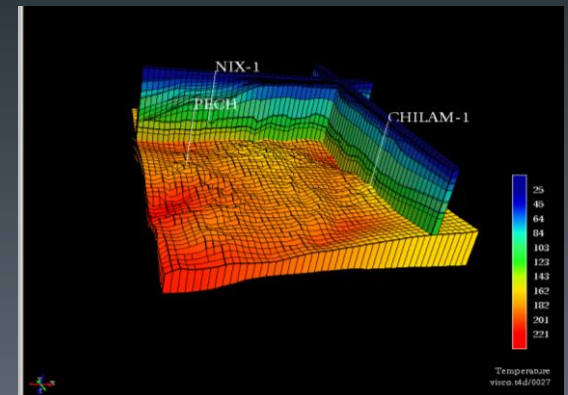
IV.- Cadena de valor de la industria geotérmica.

Mapa mundial de los límites de las placas tectónicas



Nacimiento de la Ingeniería: La interacción con la naturaleza

- La ingeniería nace desde que la Humanidad busca los recursos de la naturaleza, los utiliza, adapta o transforma para solventar sus necesidades materiales; y hasta anímicas o espirituales.
- La utilización de recursos**, conlleva la transformación y el impacto ambiental del entorno natural.
- Posición frente a la naturaleza**: adaptación, adaptación creativa e insumisa: relación sujeto-objeto o sistémica.
- Crea relaciones de conocimiento o epistemológicas.
- El acto de ingeniería, quizá, existe desde los primeros tiempos (Paleolítico en adelante).
- Historia de la ingeniería**: transformación material del mundo.
- *Reséndiz, 2013, p. 47.



¿Qué es la Ingeniería?

La ingeniería es una profesión. Acto de fe. Declarar, profesar.

Profiteri.- Declarar; *Fateri.*- Confesar.

El propósito de una profesión es el servicio a la sociedad.

El ingeniero discierne e identifica los nuevos problemas que preocupan a la sociedad, en el ámbito de su profesión.

El ingeniero crea y diseña una solución a esos problemas.*

El ingeniero y la ingeniería son el motor del PIB.



*Reséndiz N. D., 2013.- El rompecabezas de la ingeniería. Por qué y como se transforma el mundo. 4ª reimpresión. Fondo de Cultura Económica. Col. La ciencia para todos, no. 215. P. 40.

Dos funciones fundamentales del Ingeniero

Las dos funciones esenciales del Ingeniero son realizar:

a.- **El diagnóstico**.- Proceso de identificación de las causas técnicas de un problema que afecta la sociedad.

b.- **El diseño en ingeniería**.- Crear y especificar las acciones concretas necesarias para corregir o superar las causas del problema. **Esta solución es el Proyecto de Ingeniería.***



Staumauer und Überlauf des Kraftwerks von Itaipú, Brasilien. Foto: A. Borsdorf

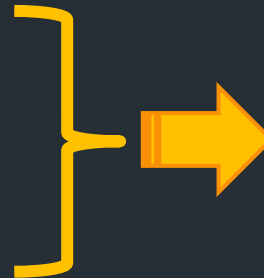


*op. cit., p. 41 y 42.

Dinámica y alcance del conocimiento y la actividad profesional: fases del pensamiento de la ingeniería:

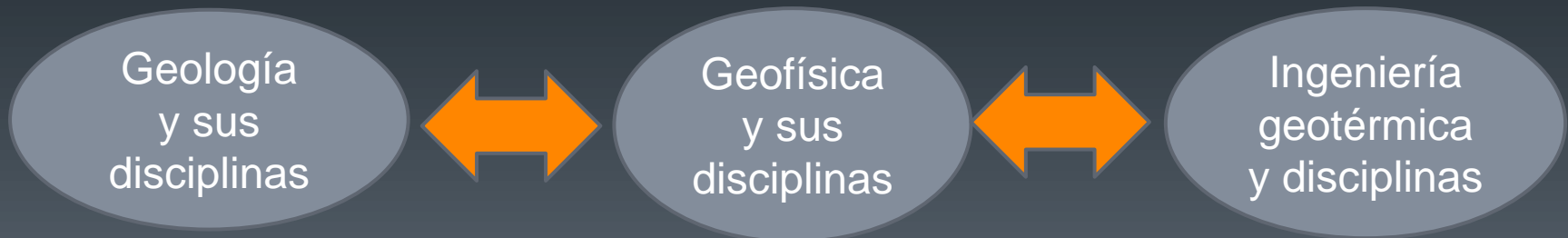
Disciplina.- Es una categoría organizadora dentro del conocimiento científico. Se instituye en éste la división y especialización del trabajo. Pero, no debe ser una parcela del conocimiento, ni autónoma, ni autosuficiente.

- a.- Intra-disciplinariedad;
- b.- Inter-disciplinariedad;
- c.- Pluri-disciplinariedad;
- d.- Trans-disciplinariedad.



Pensamiento
integral, global, complejo
(cf. E. Morin y M. Roitman)*.

Son ámbitos del quehacer científico - tecnológico, de la cultura...



*La mente bien ordenada, El pensamiento complejo, La teoría de sistemas y el conformismo social, etc., v. gr.



EL MUNDO DE LA ENERGÍA FÓSIL

Y LA DECLINACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

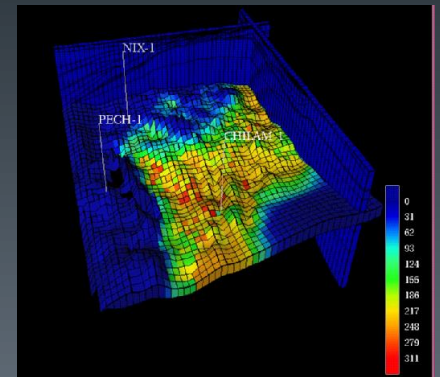
EL BALANCE ENERGÉTICO ACTUAL

Fuente energética	Mtep*	Usos %
Petróleo	3,504	40
Gas natural	2,164	25
Carbón	2,186	25
Nuclear	669	7
Hidroelectricidad y otras	230	3
TOTAL	8,753	100

*1 terawatt= i billón de watts.

*Mtep.- Mega (10^6) toneladas equivalentes de petróleo.

Energía primaria por fuentes. Fuente BP, 2001 in Parra, 2003. Pag. 51.



EL BALANCE ENERGÉTICO ACTUAL

Ingenierías múltiples de los recursos energéticos

Petróleo: El Medio Oriente posee más del 65% de las reservas mundiales probadas (Estructura del mercado mundial del petróleo).

Gas Natural: Reservas importantes en varios países (Rusia, Irán); dificultades de transporte.

Carbón: China, Rusia y E. U. poseen el 57% de las reservas mundiales.

Hidroelectricidad: Representa menos del 5% del total mundial (problemática ecológica).

Geotérmica: Se utiliza para generar energía eléctrica y para calefacción.

Nuclear: Altos costos y riesgos (países desarrollados).

Solar: Inagotable, tecnológicamente alcanzable y de bajo costo.

Oceánica: Disponible en varias formas: olas, mareas, corrientes y en conversión de energía térmica oceánica.

Eólica: Se la usa para realizar trabajo mecánico y para generar energía eléctrica.

Biomasa: Usada por el 80% de la población en países subdesarrollados.

**La historia de la humanidad es la historia del uso de la energía,
de las formaciones socioeconómicas
y del desarrollo científico y tecnológico.**

Petróleo, reservas, producción y perspectivas: 2010 - 2019

Geografía Económica y Política Mundial del Petróleo

Reservas probadas de petróleo y gas natural por áreas geográficas.

1. **1,200.7 Gb.**

2. **179.83 Tm³ = 6,348.1 tcf***

Según BP, junio de 2006.

1, **1,668.9 Gb.**

2, **187.3 Tm³ = 6614.1**

Según BP, junio 2013.

2014: 1,687.9 Gb; 185.7 Tm³.

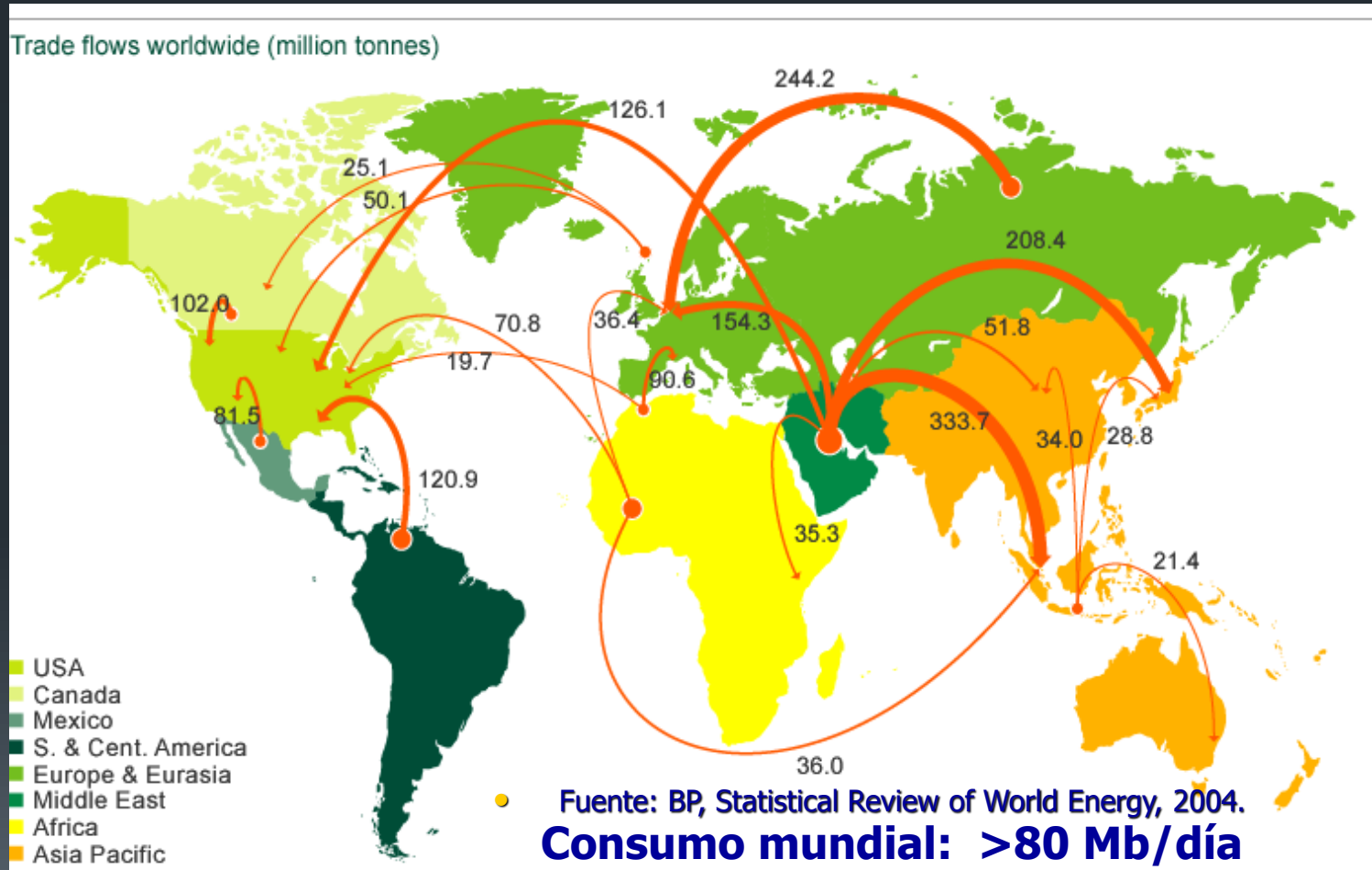
2019: 1,729.7 Gb; 196.9 Tm³.

	Petróleo		Gas natural		P + G	
	tcf Gb	Gt	Tm ³ (10 ¹² m ³)	Tcf 10 ¹² cf	Gb	Gb
América del Norte	64	9	7	259	41	106
América del Sur y Central	95	14	7	245	39	134
Europa	19	3	5	184	29	48
Antigua Unión Soviética	65	9	57	<u>2,003</u>	318	384
Medio Oriente	<u>684</u>	93	53	<u>1,854</u>	295	978
África	75	10	11	394	63	137
Asia - Pacífico	44	6	10	365	58	102
TOTAL MUNDIAL	1,046¹	142	150²	5,304	843	1,890

Reservas probadas de gas por áreas geográficas al final de 2000. tcf, trillones de pies cúbicos. Fuente BP, 2001, Según Parra, 2003. Pag. 106. y BP, *Statistical Review of World Energy*, 2019.

El Mercado Mundial del Petróleo; Transferencias

- **Geografía Económica (y Política) Mundial del Petróleo**
 - **Comercio mundial de Petróleo; Centros de suministros; cuellos de botella geopolíticos.**



La dependencia del petróleo: la civilización oleófila y oleátrica.

El Pico de los Hidrocarburos y la Declinación

- El pico de máxima producción mundial de petróleo.

Pico de descubrimientos: 1965

Pico de producción: 2005-2008

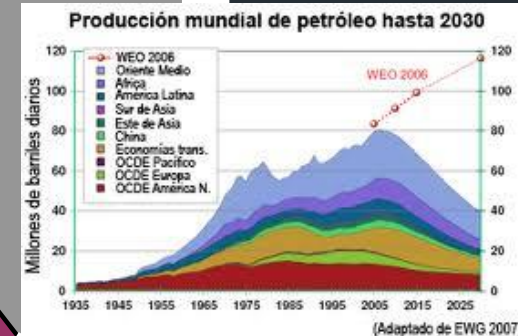
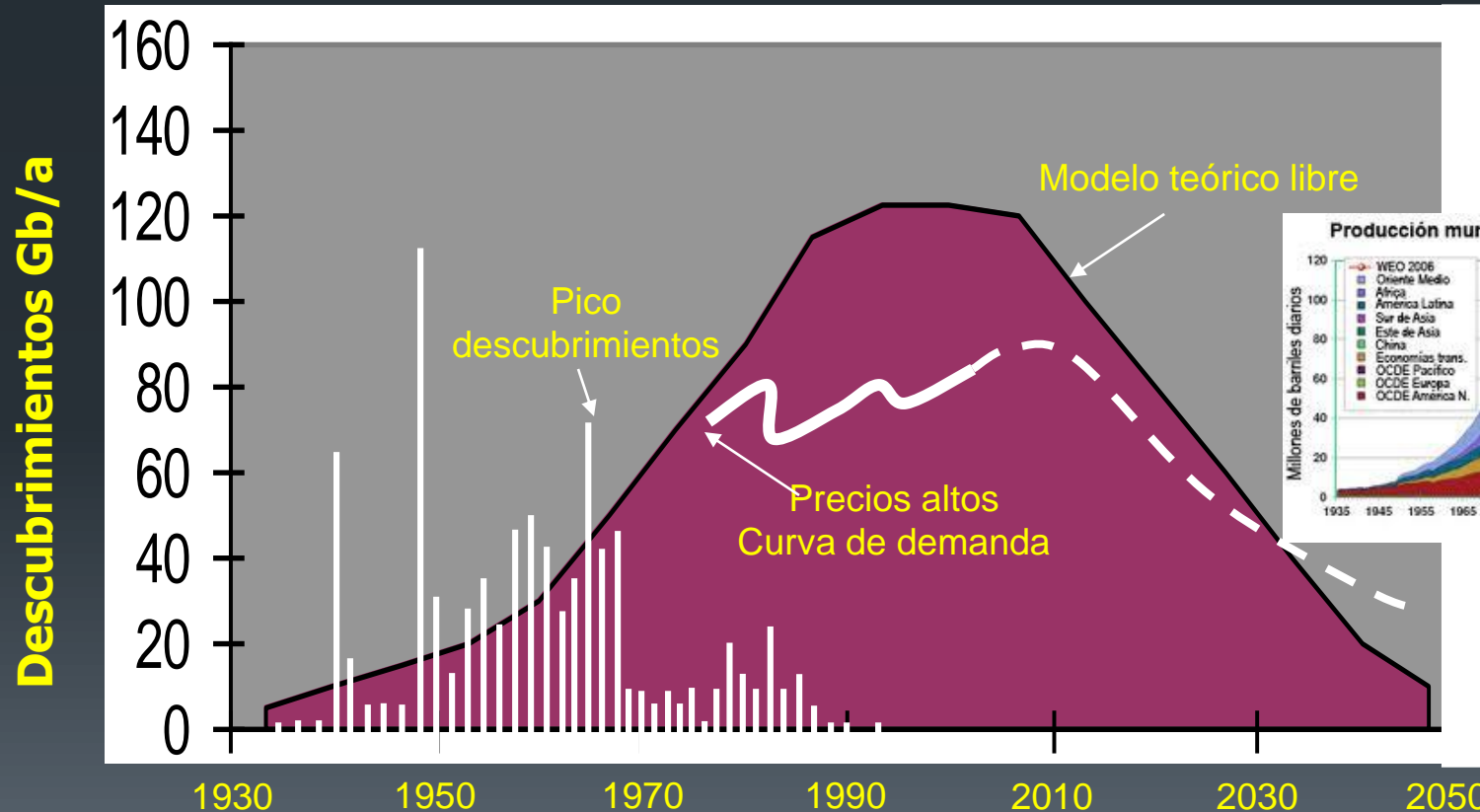
Periodo de existencia: 40 years

Idea general

Punto medio: Año 2000

Alcance: 2050

Actualmente: 2019.



Declinación petrolera mundial.

C. J. Campbell: *Peak Oil* (Dic. 2000)

Las escalas de los vectores energéticos

Energías primarias Vectores	Energías secundarias	Energía resultante final
Petróleo Gas natural Carbón Hidráulica Radiactiva (Uranio) Geotermia Biomasa Viento Sol	Gasolina Queroseno Diesel Combustóleo Alcohol Gas sintético Hidrógeno Electricidad	Movimiento Iluminación Calor Potencia

*Caso México: **La energía, actividad económica fundamental**; Representa un alto porcentaje del PIB nacional;

***Fuente de ingresos** fiscales (> 35%);

***Altos ingresos de divisas** (Más de 70 mil millones dólares anuales);

***Exportación petrolera** significativa (en promedio, el 50%);

*Los recursos energéticos son bienes patrimoniales de una nación, que constituyen la base de su **Seguridad Nacional**.*

Los Recursos y la Seguridad Nacional

POR TANTO, Qué es la SEGURIDAD NACIONAL:

“Entendemos por seguridad nacional una situación en la que la mayoría de los sectores y las clases sociales de la nación tengan garantizadas sus necesidades culturales y materiales vitales a través de las decisiones del gobierno nacional de turno y de las acciones del conjunto de instituciones del Estado...”, (Pineyro, 2006:20,21 in Hurtado, 2008:2).”

Así, la seguridad nacional es la situación y existencia de estrategias y acciones, tanto al interior como al exterior, que un Estado instrumenta y materializa con base en el derecho (*sensu lato*), para preservar su existencia y viabilidad futura en todos los aspectos estratégicos y prioritarios de su patrimonio, economía, sociedad, ambiente y política.

Destacan, por tanto, los aspectos **estratégicos** y **prioritarios**:
Territorio, Patrimonio, economía, sociedad, ambiente y política.

Aspectos fundamentales de **GESTIÓN DE POLÍTICAS DE ESTADO.**

EL IMPACTO AMBIENTAL Y EL CAMBIO



CLIMÁTICO

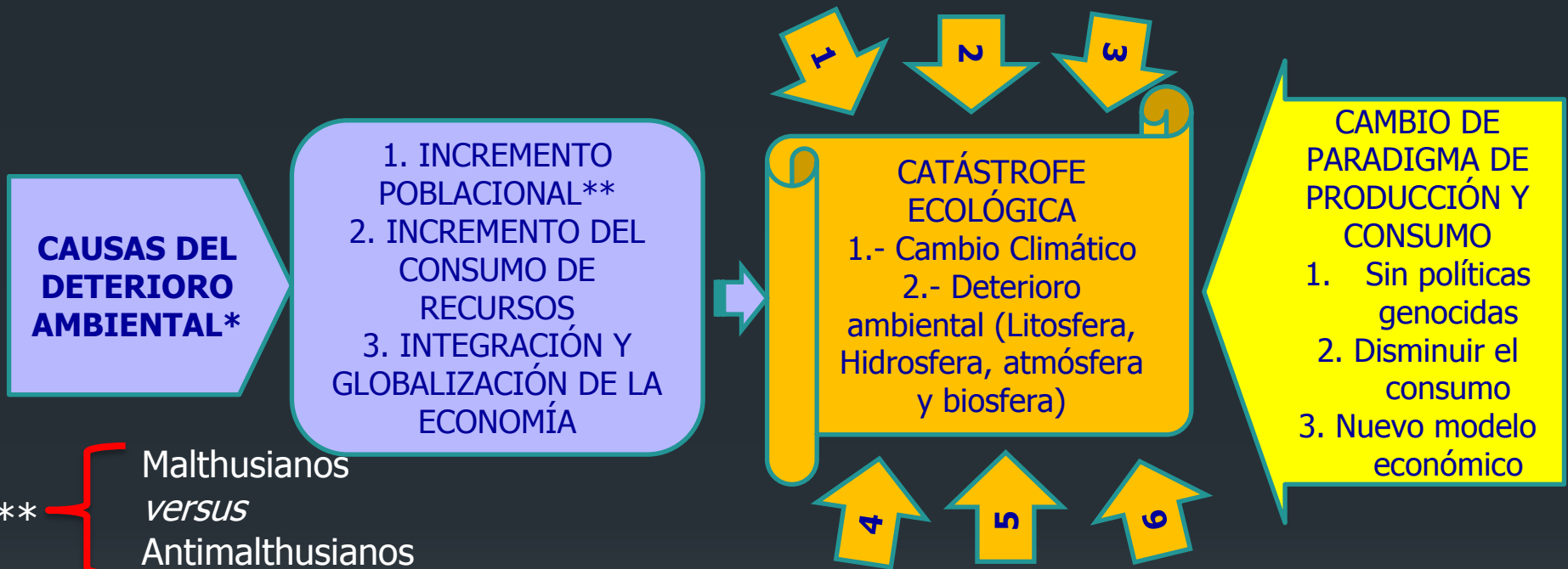
VERSUS

EL CRECIENTE CONSUMO DE ENERGÍA

DE ORIGEN FÓSIL

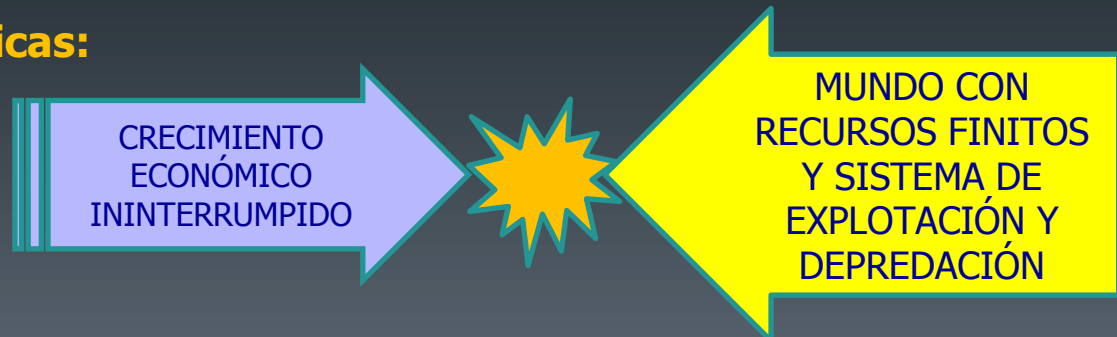
Características de la Crisis ambiental actual

• LA ENCRUCIJADA AMBIENTAL ACTUAL



Por causas económico-políticas:

- 1- Conflictos
- 2- Crisis económicas
- 3- CMN globalización
- 4- Insuficiencia alimentaria
- 5- Crisis humanitarias
- 6- Hambre y pobreza.





LA ENERGÍA GEOTÉRMICA:

UNA ALTERNATIVA DIFERENTE

PERSPECTIVAS DE DESARROLLO

CONOCIMIENTO: ESTRATEGIAS Y ACCIONES PREVENTIVAS

Actividad sísmica

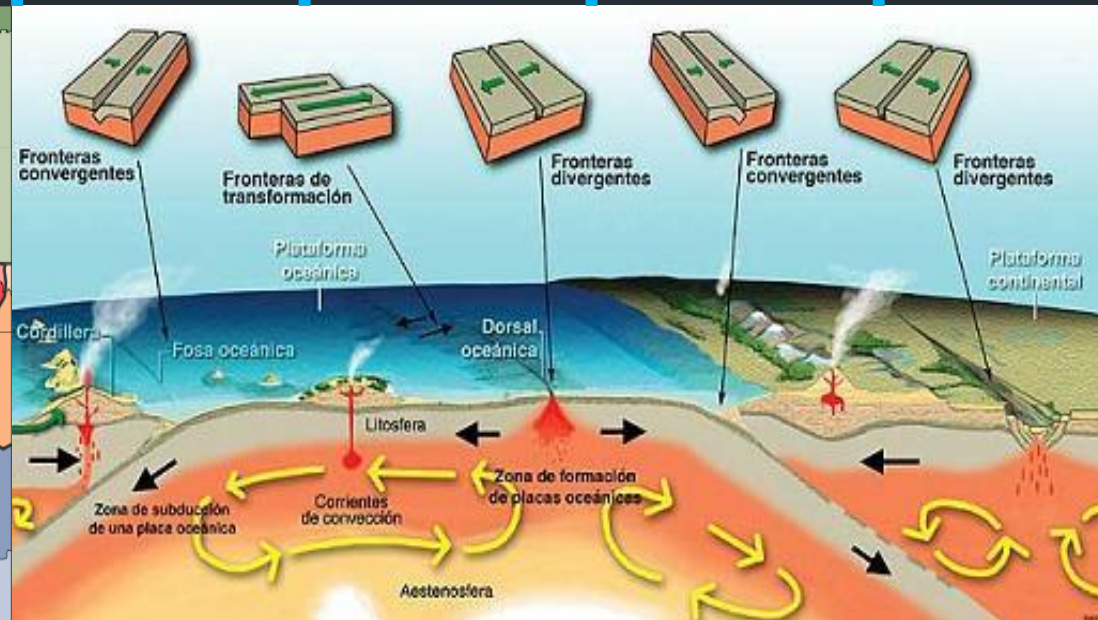
Actividad volcánica

Energía geotérmica

Recursos petroleros

Recursos minerales

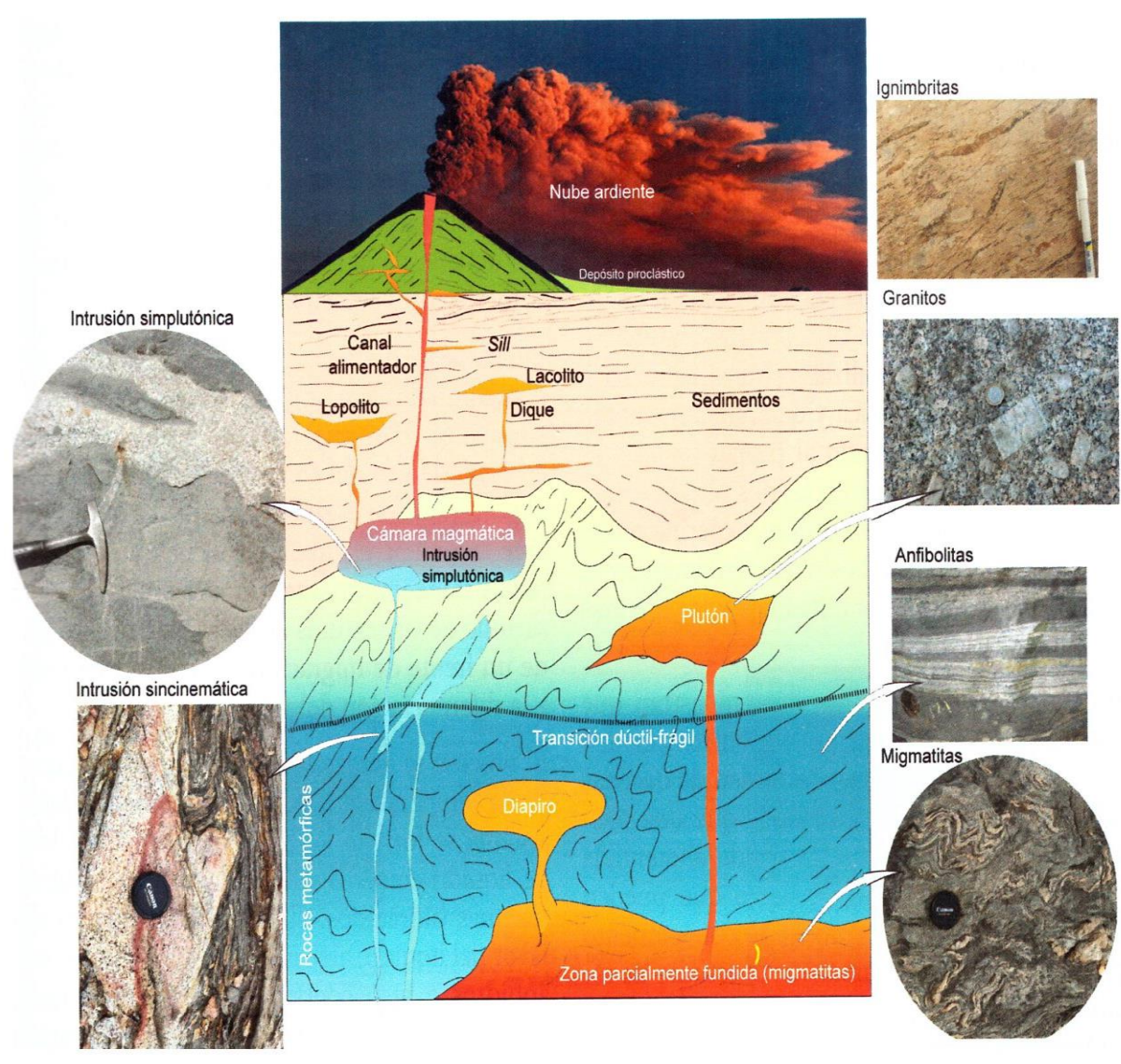
Riesgos naturales



Paradigma Geología: El conocimiento del marco tectónico del planeta; distribución de sismos, de cadenas de montañas, de energía geotérmica, vulcanismo, yacimientos minerales, de anomalías geoquímicas, etc.

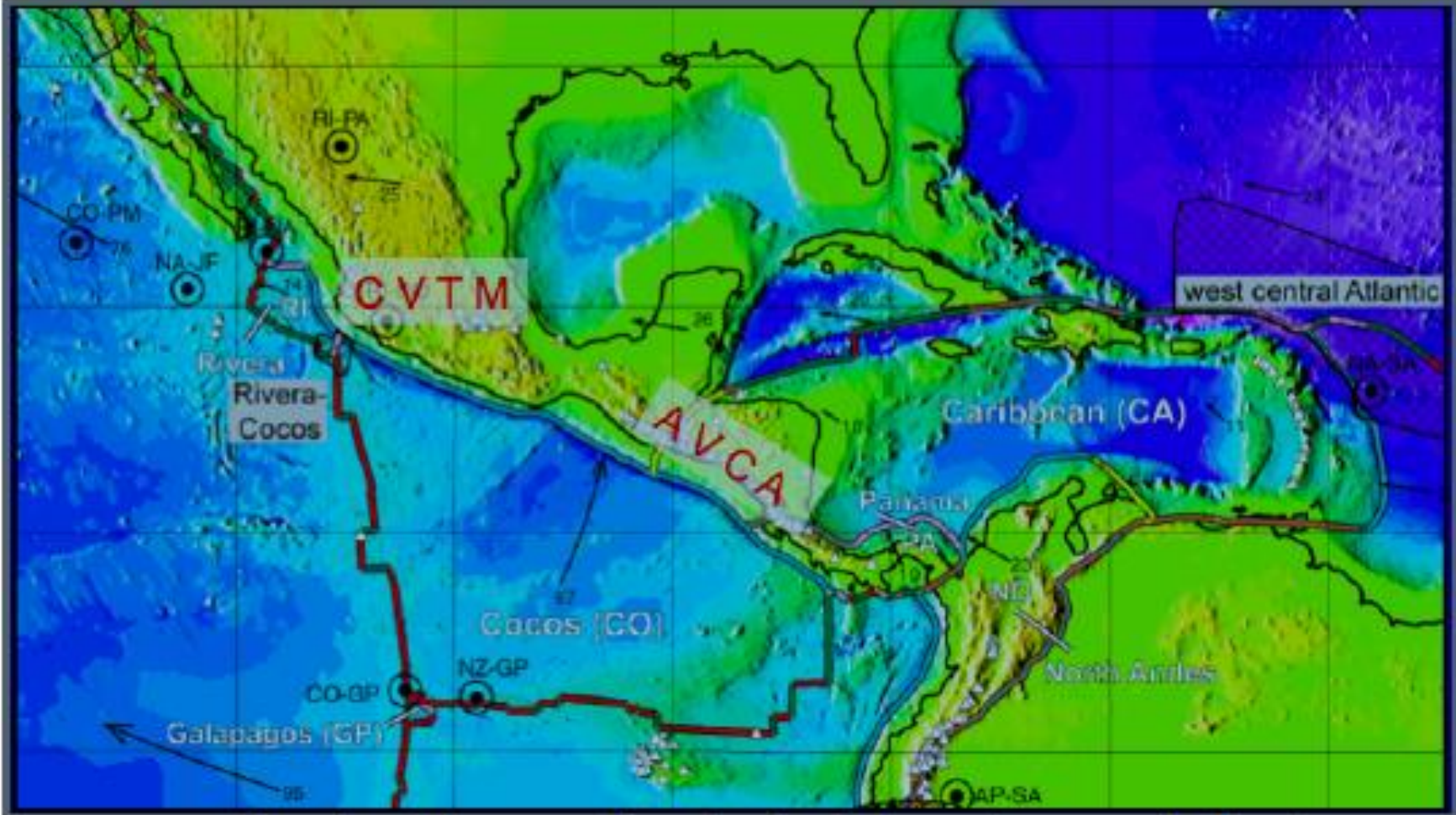
Marco tectónico y la energía interna de la Tierra

Magmatismo y vulcanismo: Manifestación de la energía interna



Marco tectónico y la energía interna de la Tierra

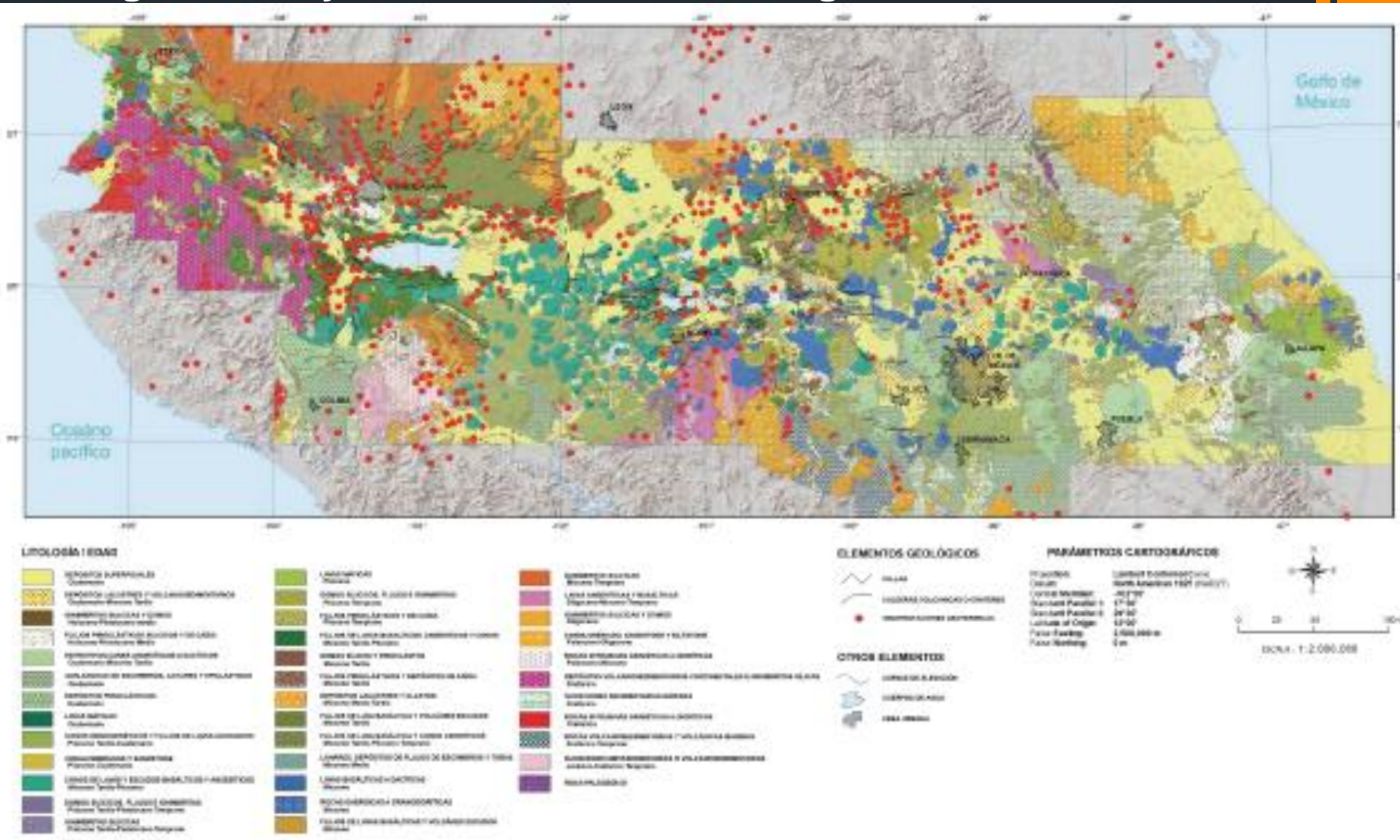
- Magmatismo y vulcanismo: Manifestación de la energía interna



Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) y Arco Volcánico Centroamericano (AVCA). Fuente: Bird (2003) in Ferrari (circa 2010).

Marco tectónico y la energía interna de la Tierra

Magmatismo y vulcanismo: Anomalías geotérmicas en México



Anomalías geotérmicas en el Eje Neovolcánico. Tomado de Ferrari *et al.* (2012); Gómez-Tuena *et al.* (2007) in González-Ruiz *et al.* (2015).



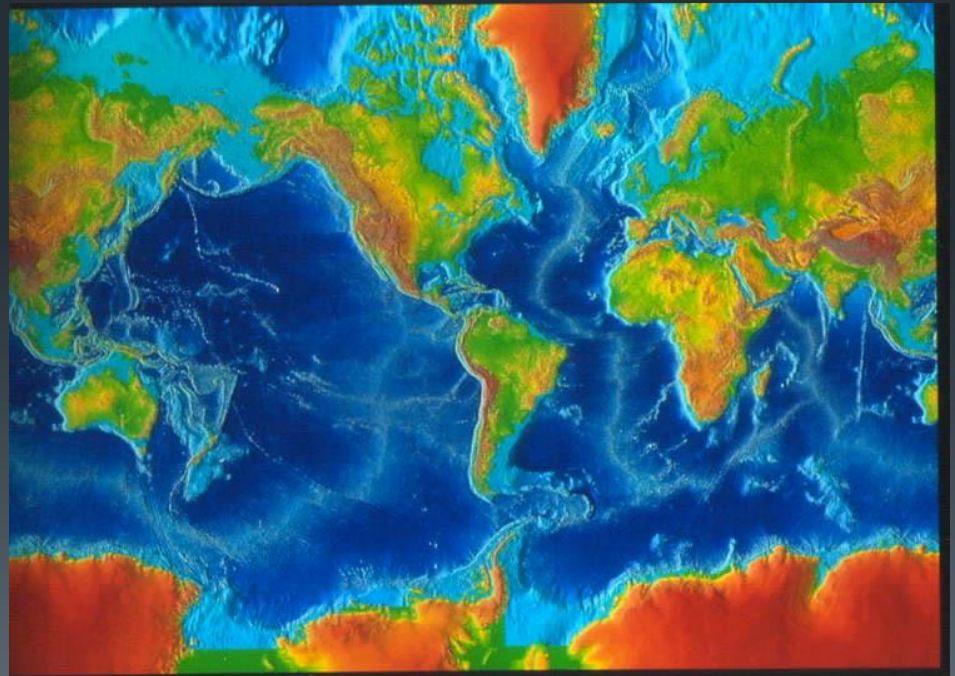
QUÉ ES LA GEOTERMIA

El calor de la Tierra y Geodinámica interna

Energía interna de la Tierra

En su origen (ca. 4,500 Ma), la Tierra era un esfera ardiente de silicatos y otros minerales.

La consolidación de la Tierra incandescente originó la litosfera sólida y ésta atrapó en su interior una inagotable fuente de calor. Es un sistema activo donde se crea energía calorífica; irradiando energía al exterior.



Energía Geotérmica

Propagación del calor interno de la Tierra

- a.- **Conducción**; interacción entre partículas adyacentes.
- b.- **Convección**: Efectos combinados de la conducción y el movimiento de un fluido, provocado por las diferencias de densidad del mismo.
- c.- **Radiación**: Emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de átomos y moléculas.

Radiación térmica es la radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura.

En la Litosfera la transferencia de calor es por conducción térmica. En la Astenosfera esto ocurre por convección térmica. Y en la Mesosfera y Endosfera, por convección.

Características: Las características de la energía geotérmica son: Económica, limpia, eficiente, continua, local, inagotable, etc.

Energía Geotérmica

Manifestaciones geotérmicas

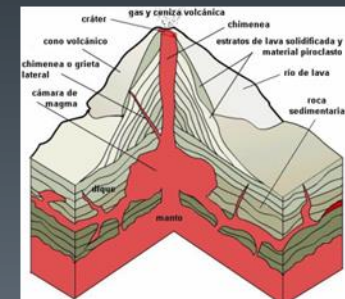
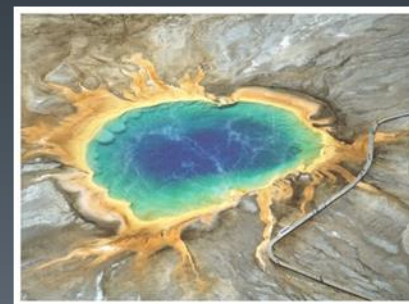
a.- Manifestaciones de magmas, corrientes de lavas o piroclásticos, vapor de agua u otros gases (CO , CO_2 , ácidos...).

b.- Manifestaciones volcánicas de gran variedad de extrusión de materiales, líquidos, sólidos y gaseosos.

c.- Cámaras magmáticas y diversas intrusiones ígneas en la corteza y sus procesos magmáticos.

d.- Agua subterránea caliente (aguas termales, géiseres, fumarolas (hasta de 100 a 500°C), solfataras, volcanes de lodo, gases carbono-sulfurosos, etc.).

Géiser: Surtidor intermitente de agua líquida mezclada con vapor de agua (70 a 100°C), con gran cantidad de sales disueltas y en suspensión (v. gr. Yellowstone, Wyoming).



Energía Geotérmica

Conceptualización general:

Es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra, en el subsuelo (Alemania, VDI 4640).

Concepto adoptado por el Consejo Europeo de la Energía Geotérmica (EGEC).

Esta noción incluye el calor almacenado en rocas, suelos, aguas subterráneas, cualesquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia.

Empero, sólo el calor almacenado (de forma concentrada) en fluidos como el agua líquida o en vapor de agua, es susceptible de ser aprovechado económicamente. Esto, mediante sondeos, sondas geotérmicas, colectores horizontales, intercambiadores de calor tierra-aire (enterrados a poca profundidad en el subsuelo).

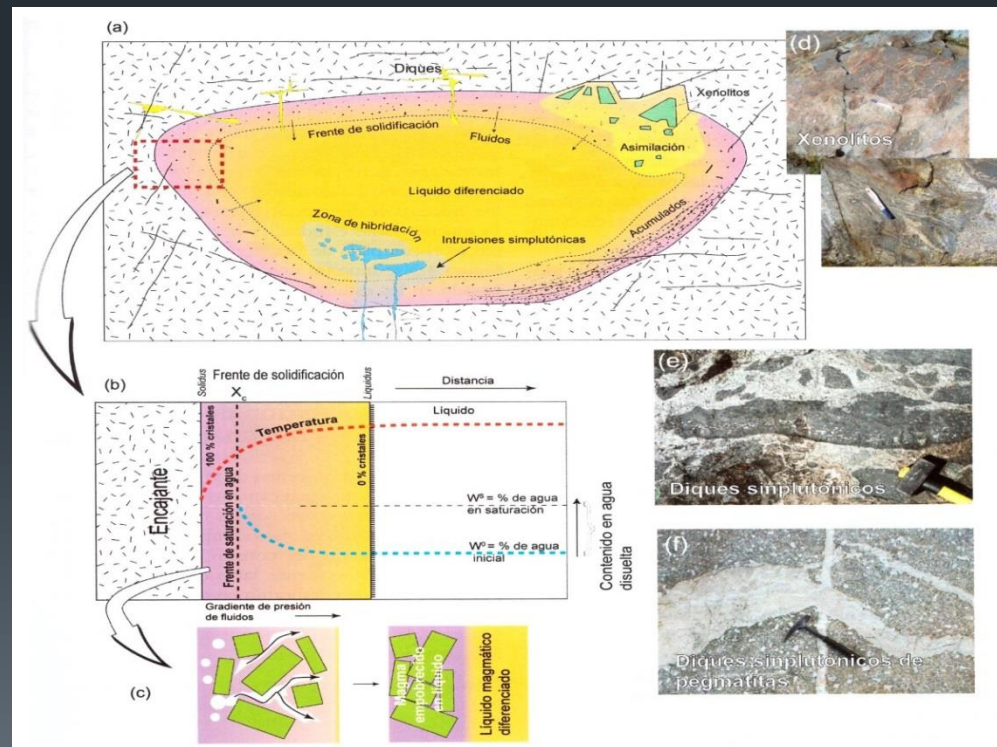
Recursos geotérmicos, Características

Definición y tipos de energía geotérmica: Contexto tectónico-magmático-petrogenético

Tipos de Yacimientos geotérmicos, de acuerdo a las condiciones tectónicas, profundidad, actividad magmática, tiempo geológico, petrogénesis-termodinámica y procesos magmáticos internos y externos de la cámara magmática:

Yacimientos:

- a.- de muy baja temperatura
- b.- de baja temperatura;
- c.- de temperatura media;
- d.- de alta temperatura



LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO

Y

FORMACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

CADENA DE VALOR

EN LA INDUSTRIA GEOTÉRMICA

Áreas de conocimiento concurrentes

Los Ejes de Conocimiento en ciencia y tecnología Geotérmica

I.- Eje Geología;

II.- Eje Geofísica;

III.- Eje Geoquímica;

IV.- Eje Geohidrología;

V.- Eje Ingeniería de Yacimientos geotérmicos

VI.- Eje Ingeniería de Plantas geotérmicas;

VII.- Eje Gestión Ambiental.

Por tanto, el conocimiento “geotérmico” su aplicación y beneficio económico, conllevan la formación, participación e incidencia de múltiples campos del saber de las INGENIERÍAS.



Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Geotermia y exploración: UNAH

a.- Generalidades y definiciones:

El calor terrestre y el flujo calorífico.

Diversos usos de la energía geotérmica.

Distribución mundial de los campos geotérmicos.

Métodos de exploración geotérmica.

- *Geodinámica interna
- *Geotectónica global
- *Exploración de la energía geotérmica

b.- Características que controlan el origen y desarrollo de un campo geotérmico:

Tipos y características de las rocas almacenadoras.

Naturaleza del encape o cobertura.

Controles estratigráficos y estructurales.

Actividad magmática y volcánica relacionada.

Naturaleza, cantidad, presión, circulación y origen de los fluidos.

Alteraciones hidrotermales.

Fenómenos de incrustación y corrosión.

- *Magmatismo
- *Geología estructural
- *Procesos geotérmicos e hidrodinámicos

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Geotermia y exploración: UNAH

c.- Métodos geológicos de estudio:

Investigación de las características geológicas favorables.

Utilización de la fotointerpretación y sensores remotos.

Investigación de la actividad magmática.

Métodos petrográficos y de geoquímica de rocas.

*Exploración y
Prospección
geológica
*Teledetección

d.- Métodos hidrogeológicos de estudio:

Obtención de los parámetros hidrogeológicos.

Determinación de las zonas de recarga y descarga. El balance hidráulico.

Mediciones de la temperatura de los fluidos y sus efectos. Variaciones térmicas en función del flujo.

Pruebas de perforación y problemas que se pueden presentar durante la perforación.

Reinyección de fluidos geotérmicos.

*Prospección
geohidrológica

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Geotermia y exploración: UNAH

e.- Métodos geoquímicos de estudio:

Nociones de isotopía y fraccionamiento isotópico.

Los isótopos ambientales en las aguas naturales.

Isótopos ambientales aplicados al estudio hidrogeológico de campos geotérmicos

Geotermometría isotópica.

*Prospección
geoquímica

f.- Métodos geofísicos de exploración geotérmica:

Métodos eléctricos; magnéticos; gravimétricos; sismológicos; y radioactivos.

Delimitación de anomalías geotérmicas.

Factores económicos de la geotermia.

*Prospección
geofísica

g.- Casos de estudio de campos geotérmicos:

Campos geotérmicos del mundo (italianos; neozelandeses; estadounidenses; mexicanos; etc.) y los campos y prospectos geotérmicos centroamericanos.

*Casos de
estudio

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Asignatura: Exploración Geotérmica, Carrera de Ing. Petrolera FI, UNAM

1.- Introducción y conceptos de básicos

- 1.1 Definiciones.
- 1.2 El calor terrestre y el flujo calorífico.
- 1.3 Diversos usos de la energía geotérmica.
- 1.4 Distribución mundial de los campos geotérmicos.
- 1.5 Métodos de exploración geotérmica.

- *Geodinámica interna
- *Geotectónica global
- *Aplicaciones de la energía geotérmica

2.- Características que controlan el desarrollo de un campo geotérmico

- 2.1 Tipos y características de las rocas almacenadoras.
- 2.2 Naturaleza del encape o cobertura.
- 2.3 Controles estratigráficos.
- 2.4 Controles estructurales.
- 2.5 Actividad magmática.
- 2.6 Naturaleza, cantidad, presión, circulación de fluidos.
- 2.7 Alteraciones hidrotermales.
- 2.8 Fenómenos de incrustación y corrosión.
- 2.9 Factores económicos.

- *Estratigrafía
- *Petrofísica
- *Geología estructural
- *Termodinámica
- *Magmatismo
- *Aplicaciones

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Asignatura: Exploración Geotérmica, Carrera de Ing. Petrolera FI, UNAM

3.- Métodos geológicos

- 3.1 Investigación de las características geológicas favorables.
- 3.2 Utilización de la fotointerpretación y sensores remotos.
- 3.3 Investigación de la actividad magmática.
- 3.4 Métodos petrográficos y de geoquímica de rocas.
- 3.5 Resultados.

- *Geología de subsuelo
- *Teledetección
- *Petrología y petrografía

4.- Métodos hidrogeológicos

- 4.1 Obtención de los parámetros hidrogeológicos.
- 4.2 Determinación de las zonas de recarga y descarga. El balance hidráulico.
- 4.3 Mediciones de la temperatura de los fluidos y sus efectos. Variaciones térmicas en función del flujo.
- 4.4 Pruebas de perforación y problemas que se pueden presentar durante la perforación.
- 4.5 Reinyección de fluidos geotérmicos.
- 4.6 Resultados.

- *Geohidrología
- *Perforación
- *Geotermometría
- *Ingeniería hidráulica

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Asignatura: Exploración Geotérmica, Carrera de Ing. Petrolera FI, UNAM

5.- Métodos geoquímicos

5.1 Nociones de isotopía y fraccionamiento isotópico.

5.2 Los isótopos ambientales en las aguas naturales.

5.3 Isótopos ambientales aplicados al estudio hidrogeológico de campos geotérmicos.

5.4 Geotermometría isotópica.

5.5 Resultados.

6.- Métodos geofísicos

6.1 Métodos eléctricos

6.2 Métodos magnéticos

6.3 Métodos gravimétricos

6.4 Métodos sismológicos

6.5 Métodos radioactivos

6.6 Delimitación de anomalías geotérmicas

6.7 Resultados

7.- Casos de estudio

*Geoquímica

*Geotermometría

*Geofísica teórica

*Métodos de
prospección geofísica

*Integración, gestión
técnica de proyectos

*Administración de
proyectos

*Aplicaciones de la
energía geotérmica

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Vulcanología, hidrotermalismo y riesgos volcánicos UNAH

- a.- Introducción:** Importancia de la vulcanología; Actividad magmática y volcánica.
- b.- Materiales y productos volcánicos:** Mineralogía y clasificación de las rocas volcánicas extrusivas (procesos de evolución magmática: Series alcalina y toleítica, transicional, calco-alcalina y potásica).
- c.- Estructuras, formas y aparatos volcánicos:** erupciones centrales, fisurales, depresiones, proyecciones balísticas, flujos de lodo, etc.
- d.- La actividad volcánica,** características y clasificación: actividad pasiva, moderada y explosiva.
- e.- La actividad volcánica** y los fenómenos hidrotermales; la génesis de la energía geotérmica.
- f.- Evaluación del potencial geotérmico** y factores económicos de la geotermia.
- g.- Naturaleza y zonificación** de los riesgos volcánicos.
- h.- La predicción de los riesgos** y peligros volcánicos.
- i.- Vigilancia de la actividad volcánica** y predicciones a corto plazo.
- j.- Mitigación de los peligros volcánicos** y medidas de protección.
- k.- Casos de estudio;** áreas volcánicas actualmente activas.

- *Tectónica
- *Procesos magmáticos
- *Vulcanología
- *Hidrotermalismo

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Flujo de fluidos en medios porosos.

FI, UNAM

a.- El medio poroso:

a.1.- Definiciones y clasificación;

a.2.- Descripción estadística del medio poroso; Distribución del tamaño de las partículas y de los poros;

a.3.- Superficie específica;

a.4.- Conceptos de homogeneidad, isotropía y anisotropía.

b.- Conceptos matemáticos de la mecánica de fluidos:

b.1.- Funciones: gamma y error de Bessel;

b.2.- Ecuaciones diferenciales parciales.

*Hidráulica
*Mecánica de fluidos
*Geohidrología

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Flujo de fluidos en medios porosos.

FI, UNAM

c.- Teoría del flujo de fluidos en medios porosos:

- c.1.- Mecanismo y tipo de flujo: Flujo laminar, flujo viscoso, flujo turbulento, flujo laminar simultáneo de fluidos inmiscibles;
- c.2.- Potencial de corriente;
- c.3.- Limitaciones de la hidrodinámica;
- c.4.- Ley de Darcy en forma diferencial;
- c.5.- Permeabilidad relativa;
- c.6.- Ley de Darcy para medio anisotrópico;
- c.7.- Ecuaciones de estado para fluidos;
- c.8.- Ecuación diferencial de flujo de fluidos en un medio poroso;
- c.9.- Condiciones de frontera;
- c.10 Ecuación de Forcheimer.

***Mecánica de fluidos**

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Flujo de fluidos en medios porosos.

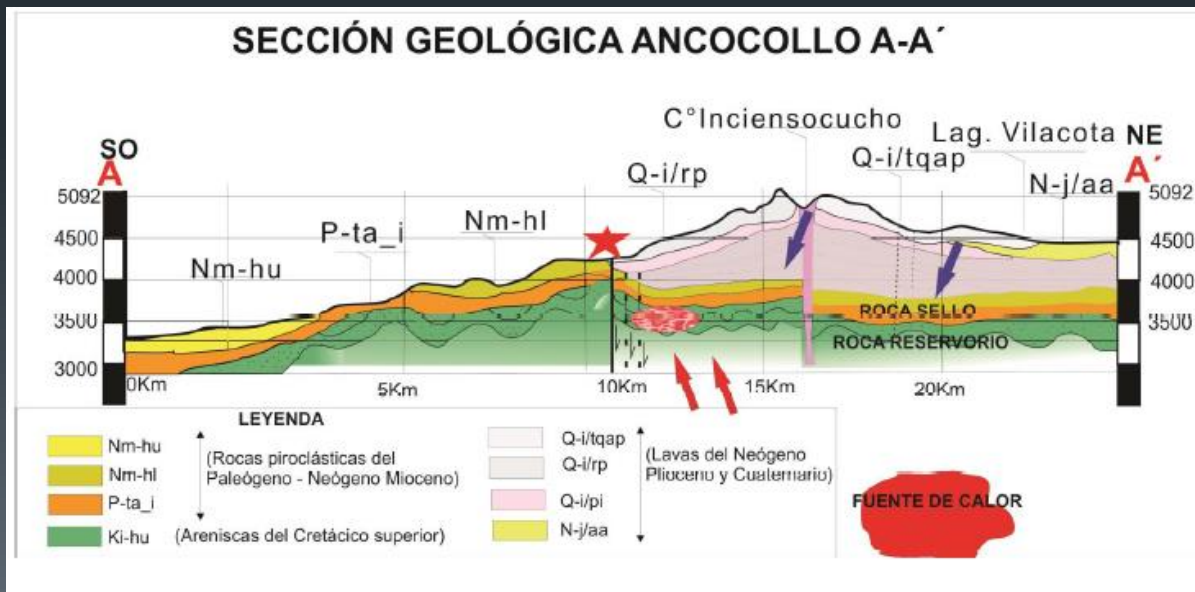
FI, UNAM

d.- Aplicaciones:

d.1.- Ecuaciones de flujo en diferentes sistemas de coordenadas;

d.2.- Soluciones de estas ecuaciones para diferentes condiciones de fronteras (yacimiento infinito, gasto constante; yacimiento cilíndrico, gasto constante en el pozo y cero flujo en la frontera externa, etc.);

d.3.- Generalidades sobre la simulación numérica de yacimientos.



*Mecánica de fluidos
*Hidráulica subterránea
y Geohidrología

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Exploración geohidrológica e impacto ambiental: FI, UNAH

a.- Introducción: Conceptos fundamentales sobre la Geohidrología y los métodos de exploración del agua subterránea.

b.- El ciclo hidrológico; Propiedades químicas y físicas del agua. Los análisis químicos y físicos y la calidad del agua.

c.- Contextos geológicos y la existencia de los acuíferos y su clasificación. Propiedades petrofísicas de los acuíferos (porosidad y permeabilidad)

d.- Teoría elemental del movimiento de agua subterránea. Ley de Darcy.

e.- La exploración del agua subterránea

f.- Métodos geológicos de exploración del agua subterránea;

g.- Métodos geofísicos de superficie.

h.- Sondeos de reconocimiento; equipos de perforación y excavación.

i.- Registros geofísicos en pozos: Registros eléctricos; Resistividad normal larga, Resistividad normal corta, Resistividad lateral; Potencial espontáneo; Rayos gamma natural, Registro litológico.

j.- Contextos geológicos del agua subterránea en los diferentes tipos de rocas y estructuras.

k.- Diseño de pozos para explotación.

l.- Contaminación de pozos y acuíferos.

m.- Normatividad en materia de contaminación de agua subterránea.

n.- Inventario geohidrológico de Honduras y contexto ambiental.

- *Geohidrología
- *Mecánica de fluidos
- *Geología y geofísica
- *Impacto ambiental

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Tectónica global o geotectónica global

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

a.- **Introducción**: dominio y alcance de la Tectónica de placas o Geotectónica.

b.- Mecánica de la deformación litosférica.

c.- **La Corteza terrestre**, la astenosfera, el manto y el núcleo: sus características.

d.- La teoría de la deriva continental: Alfred Wegener: Pruebas de la deriva continental.

e.- **La exploración** del fondo oceánico.

f.- La hipótesis de la expansión del fondo oceánico.

g.- **La tectónica de placas**: concepto de placa; tipos de límites entre las placas. Dinámica.

h.- Límites distensivos o divergentes: las dorsales oceánicas.

i.- **Límites compresivos**: las zonas de subducción.

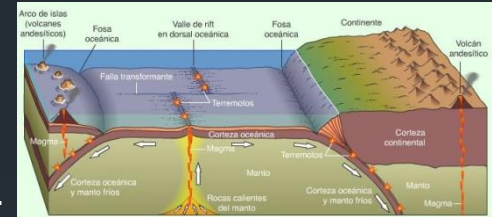
j.- Límites de fallas transformantes y de desplazamiento lateral.

k.- **Procesos de la tectónica de placas**: del rift a la oceanización.

l.- La tectónica de placas y los diferentes contextos regionales.

m.- **Tectónica de placas** y sus relaciones con la orogenia, el vulcanismo, la sismicidad.

n.- Tectónica de placas y la prospección de recursos naturales no renovables (hidrocarburos, carbón, geotermia, yacimientos minerales, etc.).



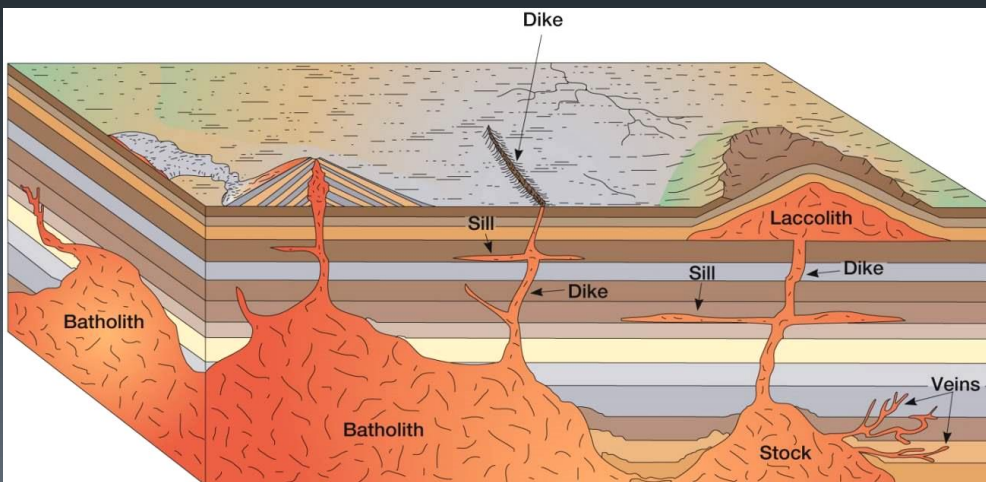
- *Geodinámica interna
- *Geotectónica global
- *Mecánica del medio continuo
- *Geología estructural

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Petrología ígnea

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

- a.- Introducción; principios de equilibrio químico aplicado a las rocas.
- b.- Cristalización de minerales ígneos a partir de mezclas silicatadas fundidas.
- c.- Características y clasificación de las rocas ígneas.
- d.- Series de reacción de Bowen; series continuas y discontinuas.
- e.- Cristalización de los magmas basálticos y graníticos.
- f.- Asociaciones de las rocas ígneas; Cristalizaciones diferenciales.
- g.- Petrogénesis de las rocas ígneas y Procesos magmáticos.
- h.- Las rocas ígneas intrusivas y las rocas ígneas extrusivas; criterios de diferenciación.
- i.- Asociaciones de rocas intrusivas y volcánicas en el contexto de las regiones orogénicas.



- *Termodinámica
- *Procesos magmáticos
- *Petrología y Petrografía ígneas
- *Petrogénesis
- *Geotectónica global

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Exploración geofísica

FI, UNAM

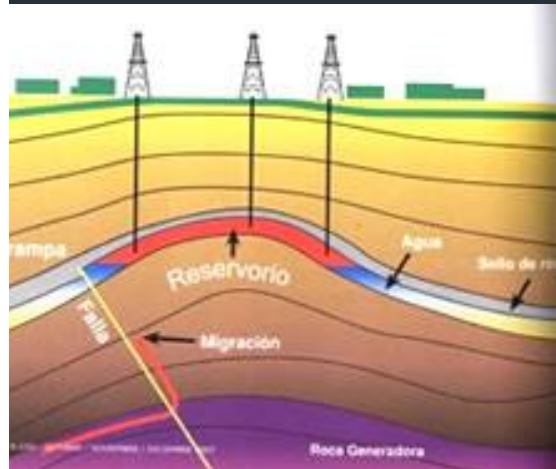
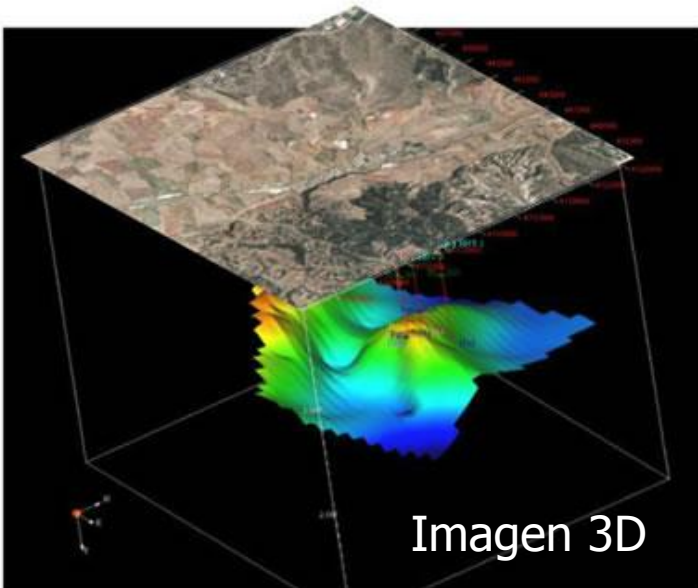
- a.- Introducción: los fundamentos de Geofísica y los métodos de aplicación a la exploración.
- b.- Teoría de la elasticidad y la propagación de ondas elásticas o sísmicas en los materiales terrestres.
- c.- Sismicidad y estructura de la Tierra.
- d.- Instrumentos y tecnología sísmica para exploración.
- e.- El método de refracción sísmica.
- f.- El método de reflexión sísmica.
- g.- Principios básicos de la prospección por gravedad. Gravedad terrestre; el principio de la isostasia.
- h.- Medición gravimétrica en campo y sus correcciones.
- i.- Interpretación de los datos gravimétricos.
- j.- Prospección magnética: Principios e instrumentos. Magnetismo terrestre.
- k.- Medición magnética e interpretación de datos.
- l.- Métodos eléctricos de prospección.
- m.- Los métodos de prospección geofísica hacia diferentes objetivos: exploración petrolera, minera, hidrológica.

*Geofísica teórica
*Métodos geofísicos de exploración

Espacios Pedagógicos y sus Áreas Temáticas

Espacio pedagógico: Exploración geológica, Geología de campo y de subsuelo
FI, UNAM

- a.- Fundamentos y métodos de la Geología de subsuelo.
- b.- Métodos de exploración directa: Perforación de pozos y muestreo geológico.
- c.- Técnicas de muestreo y manejo de equipos de perforación.
- d.- Métodos de exploración indirecta: Utilización de las herramientas de prospección geofísica.
- e.- Técnicas geofísicas de registros de pozos.
- f.- Cartografía geológica y técnicas de representación geológica (estratigráfica, estructural).
- g.- Metodología de la interpretación geológica de datos geofísicos.



- *Geología de campo
- *Geología de subsuelo
- *Cartografía y SIG's
- *Teledetección aeroespacial

Exploración Geotérmica para un Modelo Geológico Integral

Enfoque Metodológico según las asignaturas incidentes

I.- Exploración Geológica Superficial y de Subsuelo en Geotermia

Marco Tectónico-Geotérmico

Fuentes de Calor

Roca Reservorio

Capas – sello

Basamento Tectónico – magmático

Evidencias y Fenómenos Geológico-hidrotermales

Marco Estructural del Yacimiento

Modelo Geológico Conceptual

II.- Exploración Aérea por Teledetección y Detección Aérea

Identificación y zonación de anomalías geotérmicas

Análisis radiométrico de zonas

Zonificación geoquímica (alteraciones) e hidrotermal

Jerarquización de manifestaciones geotérmicas



Exploración Geotérmica para un Modelo Geológico Integral

Enfoque Metodológico

III.- Exploración Geofísica

III.1.- Métodos Potenciales Gravimetría y Magnetometría

III.2.- Métodos de Exploración Sísmica (Reflexión Refracción)

III.3.- Exploración Eléctrica y Magnetotelúrica

IV.- Exploración Geoquímica y Geohidrológica

Zonificación y cartografía de alteración geoquímica e hidrotermal

V.- Integración y Cartografía de Factibilidad

V.1.- Marco Regional y Marco Local

VI.- Estudios de Factibilidad para perforación exploratoria

Evaluación del potencial geotérmico

Diseño de desarrollo de pozos exploratorios

Ingeniería de Construcción de la Planta Geotérmica

VII.- Estudios de Impacto Ambiental

Ingenierías Incidentes en el conocimiento geotérmico

Interrelación de los campos de ingenierías afines a la Geotermia

(No se muestran las ingenierías y especialidades de apoyo)





LA CADENA DE VALOR

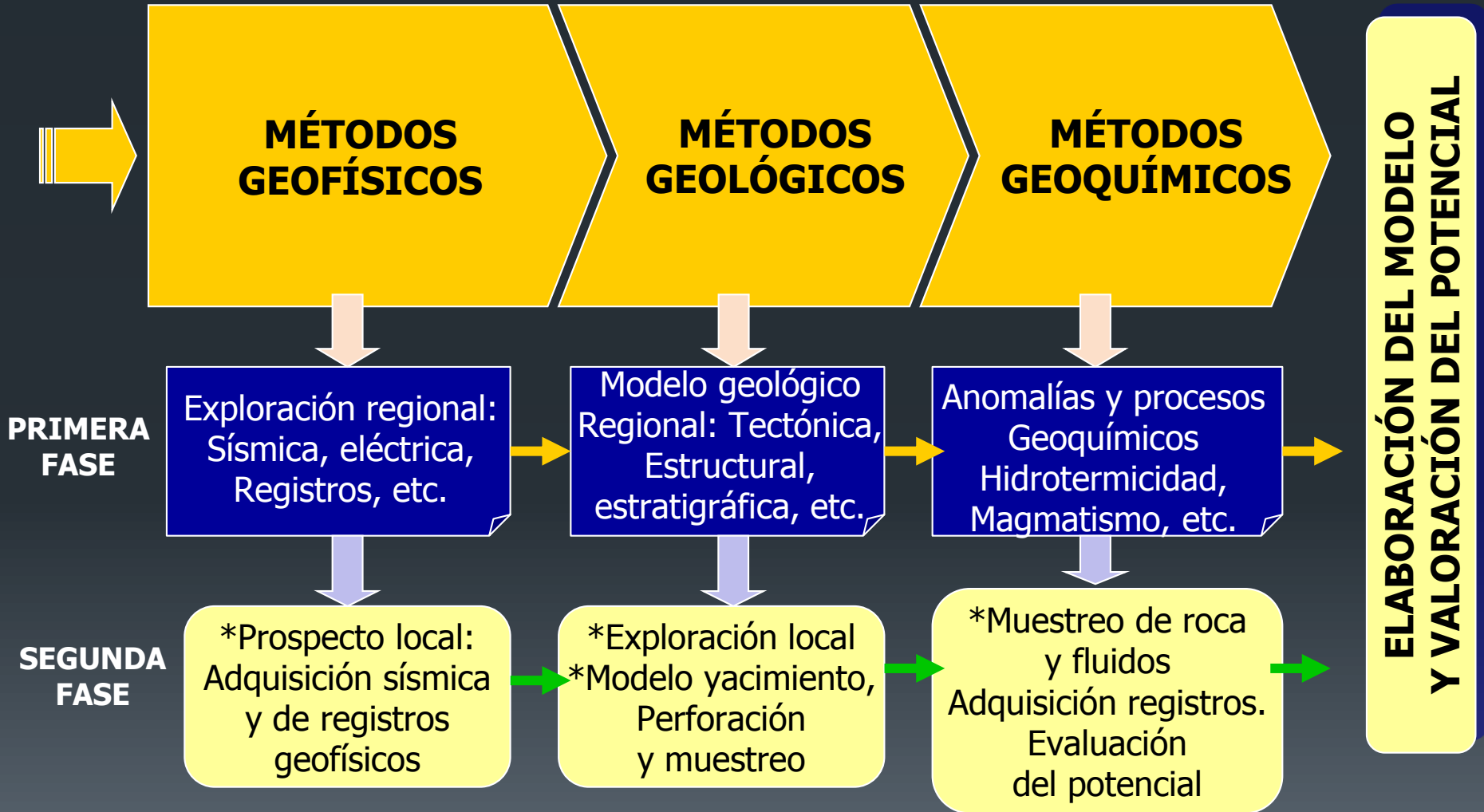
EN LA INDUSTRIA GEOTÉRMICA

Cadena general de valor de la industria geotérmica



Marco tectónico y la energía interna de la Tierra

- Metodología Integral: Exploración geotérmica





**EL DESARROLLO PRESENTE
Y PERSPECTIVAS FUTURAS
DE LA INDUSTRIA GEOTÉRMICA**

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo: Europa*

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

Potencia instalada

Mercados nacionales

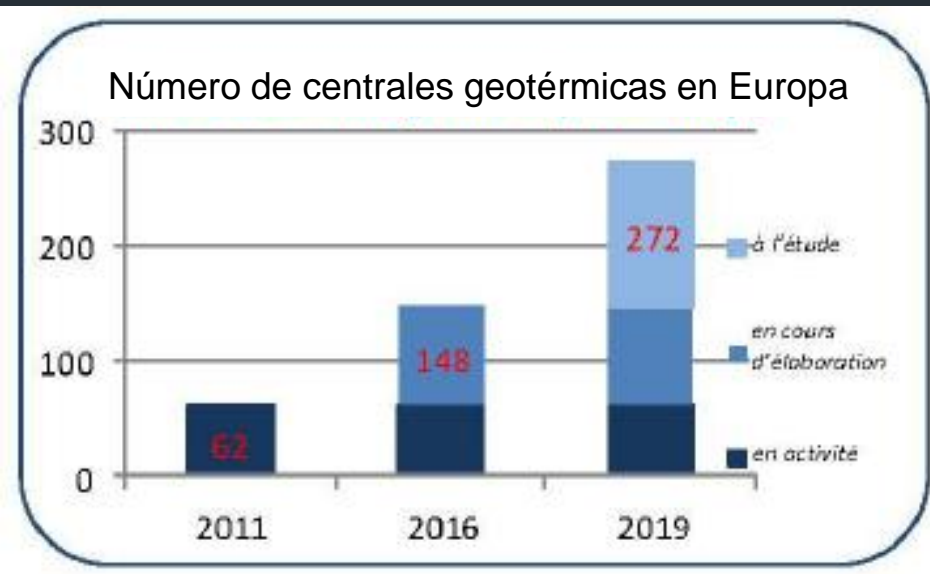
Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

*La producción de electricidad geotérmica ha crecido enormemente;

*Hay 62 centrales geotérmicas en actividad; 48 situadas en Europa (35 en Italia);

*Actualmente, en proceso de elaboración: 86 centrales y 98 en fase de exploración (proceso 5 a 7 años para ser operacional).



*Fuente: Programme of the European Union; Geoelec; BRGM, 2016.

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

Potencia instalada

Mercados nacionales

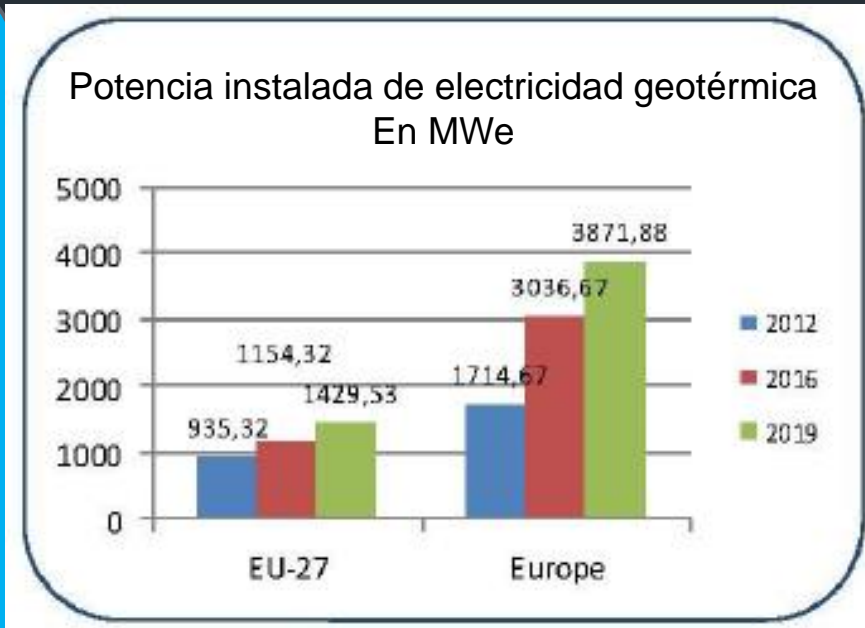
Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

*Potencia instalada en 2012: 1.71 GWe; produciendo 11.38 TWh/año;

*Potencia a alcanzada en 2016: 3 GWe;

*Potencia suplementaria alcanzada en 2019:1 GWe; por tanto será de 4 GWe.



Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

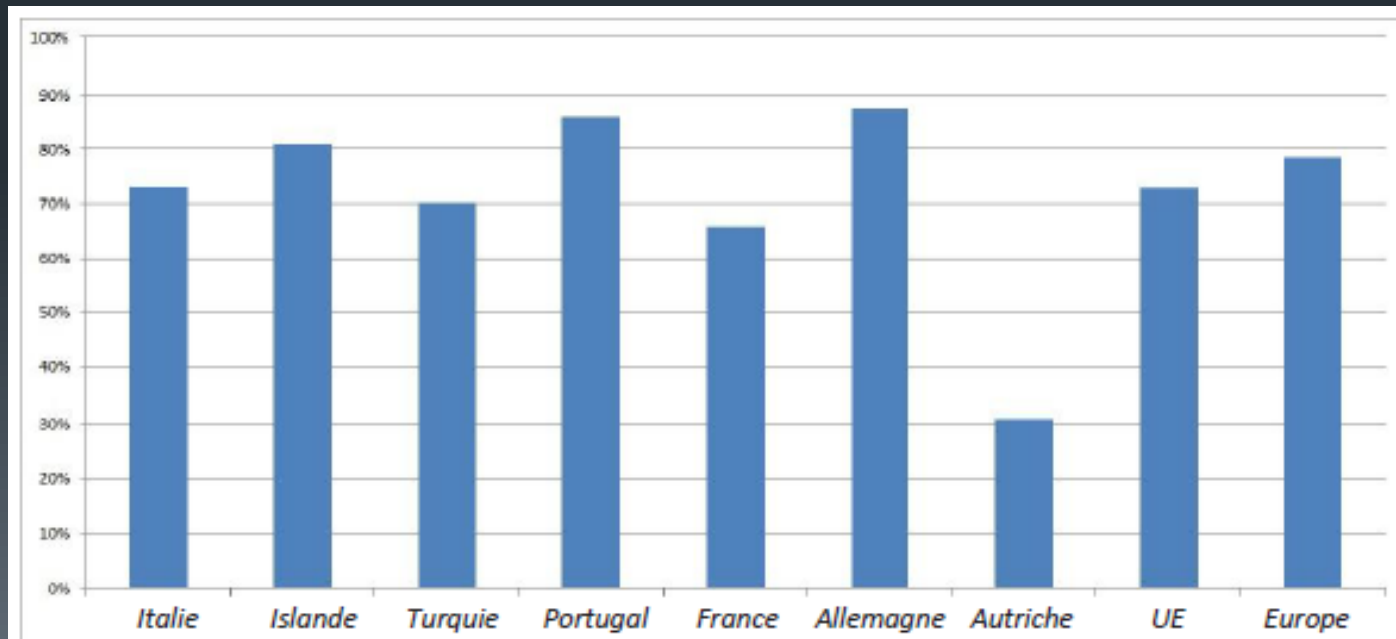
Potencia instalada

Mercados nacionales

Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

- *La electricidad geotérmica es renovable y flexible;
- *No condicionada por factores climáticos: Operan del 75% al 95% del tiempo;
- *Funcionan para generar electricidad y para calefacción urbana (doméstica e industrial).



Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

Potencia instalada

Mercados nacionales

Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

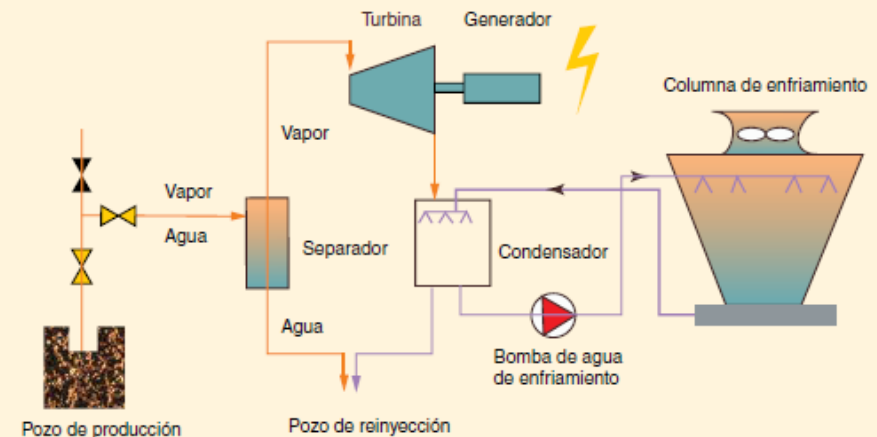
*Tres tipos de centrales eléctricas funcionan en Europa:

- 1.- Convencional o hidrotermal;
- 2.- De ciclo binario;
- 3.- Central EGS (*Enhanced Geothermal System*) o Sistema geotérmico estimulado;

*La mayoría de centrales ahora usadas son convencionales;

*En 2019 hay más de 40 funcionando.

Concepto de central geotérmica por condensación



Fuente | Modificado de Dickson y Fanelli 2004.

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

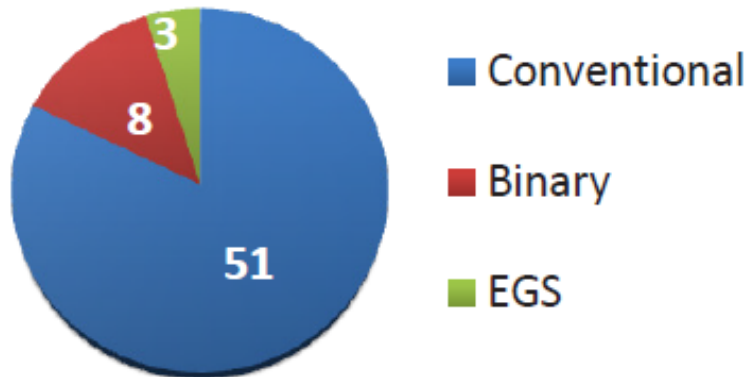
Potencia instalada

Mercados nacionales

Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

Nombre de centrales eléctricas
géothermiques existantes



ACTUALMENTE

Conventionnelle = 85 %
Cycle binaire = 12 %
EGS = 3 %

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

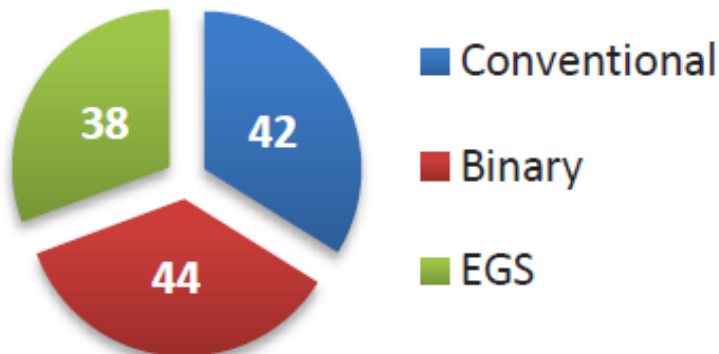
Potencia instalada

Mercados nacionales

Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

Perspective de centrales électriques géothermiques en Europe



A LARGO PLAZO

*Conventionnelle = 55 %
Cycle binaire = 27
EGS = 18 %*

Estructura Geotérmica – Electricidad

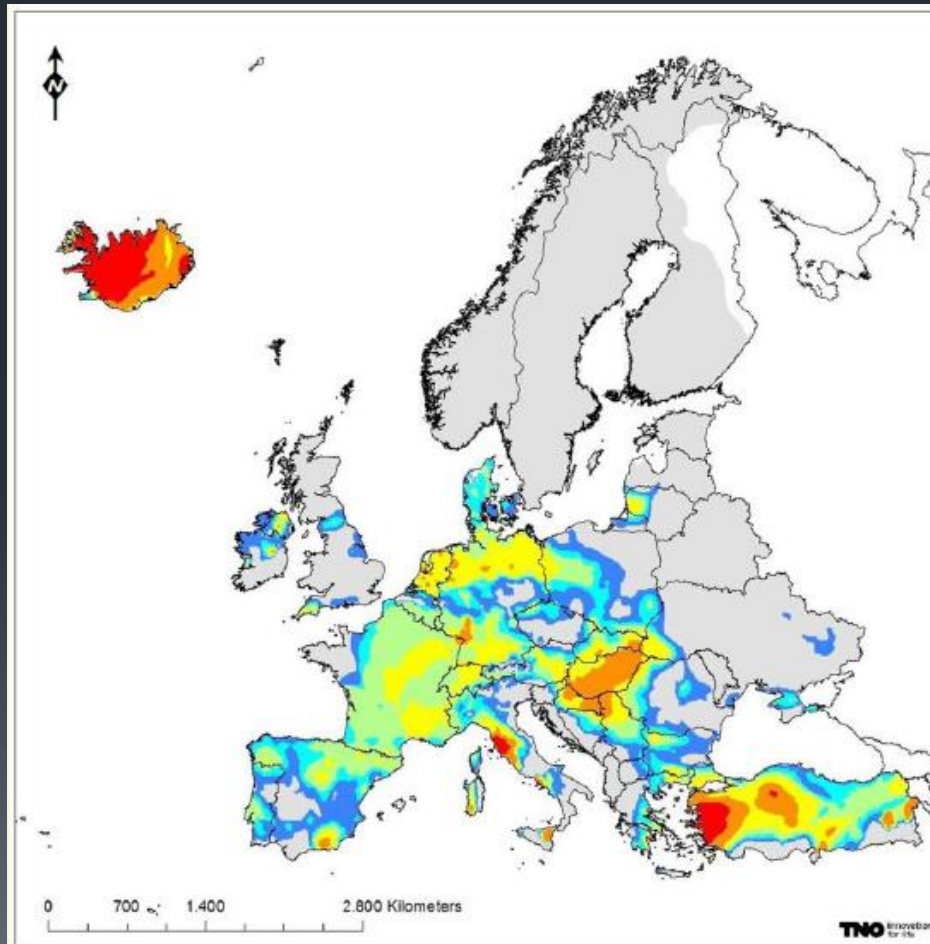
Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

2.- Potencial Geotérmico

Evaluación de los recursos

Perspectivas del potencial europeo hacia 2020, 2030 y 2050



**Potencial económico de
Energía geotérmica en
2030:**
***34 TWh para UE-28;**
***174 TWh para el
potencial total de Europa**

**Valor máximo en
Euros/MWh**



Estructura Geotérmica – Electricidad

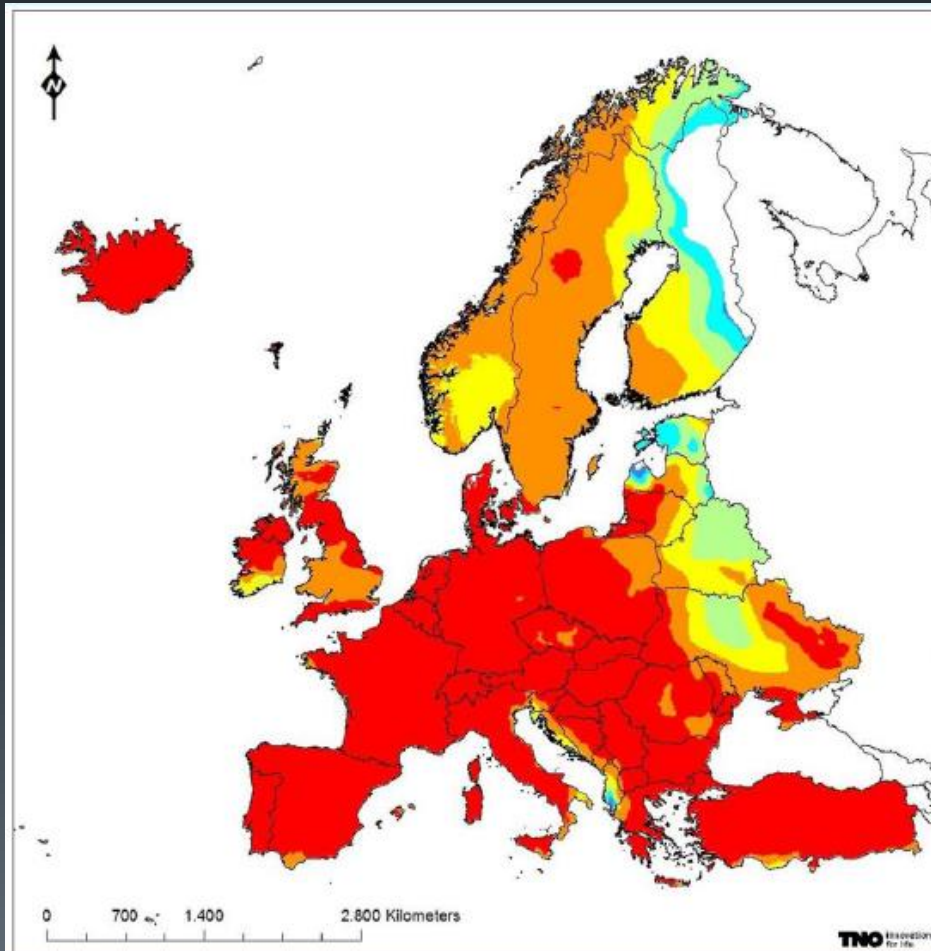
Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

2.- Potencial Geotérmico

Evaluación de los recursos

Perspectivas del potencial europeo hacia 2020, 2030 y 2050



Potencial económico de
Energía geotérmica para
2050:

*2,570 TWh en EU-28;

*Cerca de 4,000 TWh para el
potencial total de Europa.

Valor máximo en
Euros/MWh



Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

3.- Aspectos Financieros y Económicos

Ventajas y oportunidades

Financiamiento de proyectos

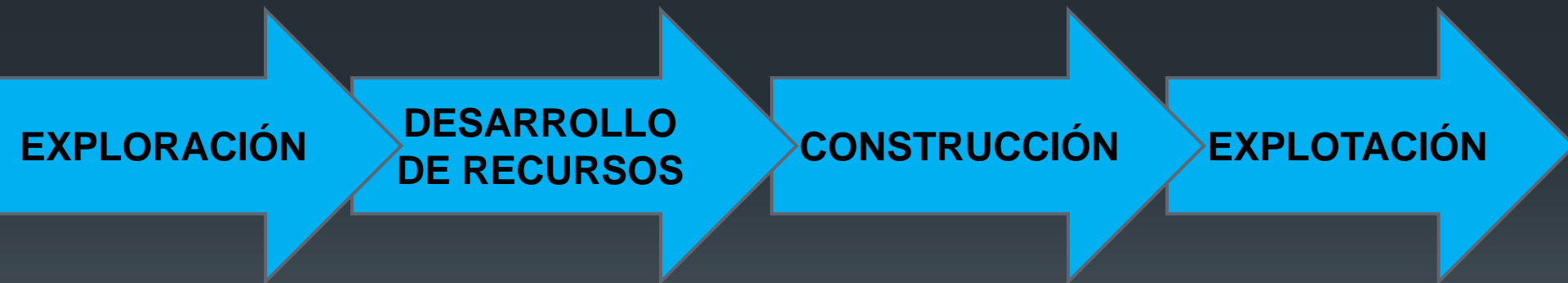
Costos de proyectos, Costos de perforación

Seguridad y riesgos

Acceso a las redes de distribución eléctrica nacional

Procesos de otorgamiento de licencias

Retos e impactos ambientales



Identificación del sitio
Estudios factibilidad
Permisos de explotación
Aseguramiento

Perforación
Pruebas de bombeo

Implantación
de centrales

Etapa de Producción

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

4.- Formación de Recursos especializados y Empleo

Estructura educativa, científica y tecnológica

Creación de empleos, categorías, calificaciones y variedades

Plan de acción para el empleo

*Mejora del sistema educativo primario;

*Mejora y optimización de la educación profesional y de investigación a nivel científico y tecnológico;

*Desarrollo vinculante con el sector público y empresarial, y la sociedad en general



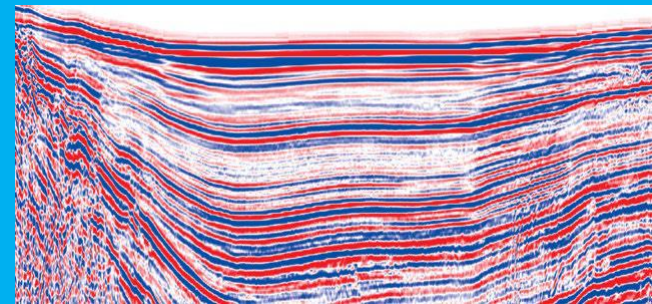
Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

4.- Formación de Recursos especializados y Empleo

Ingenierías en Ciencias de la Tierra, energía y materiales: Sistema Francés

- 1.- Geólogo / Geofísico minero / Ingeniero de Explotación de recursos naturales;
- 2.- Ingeniero hidrogeólogo;
- 3.- Geólogo / Geofísico en riesgos naturales;
- 4.- Experto consejero en gestión de riesgos naturales;
- 5.- Ingeniero en geotermia;
- 6.- Ingeniero geofísico / ingeniero civil;
- 7.- Ingeniero en sitios y suelos contaminados;
- 8.- Ingeniero sismólogo / vulcanólogo;
- 9.- Ingeniero espacial / investigador;
- 10.- Ingeniero responsable de sitios de deshechos;
- 11.- Ingeniero responsable de estación de depuración;
- 12.- Geólogo /Geofísico / Hidrocarburos, gas, carbón;
- 13.- Gestor energético / Ingeniero en eficiencia energética;
- 14.- Ingeniero de investigación en bioquímica, geoquímica;
- 15.- Físico de observatorios / Físico adjunto / técnicos superiores;
- 17.- Encargado de misión / efe de proyecto agua y ambiente;
- 18.- Ingeniero en investigación y desarrollo de materiales/petrología y mineralogía.



Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

4.- Formación de Recursos especializados y Empleo

Estructura educativa, científica y tecnológica

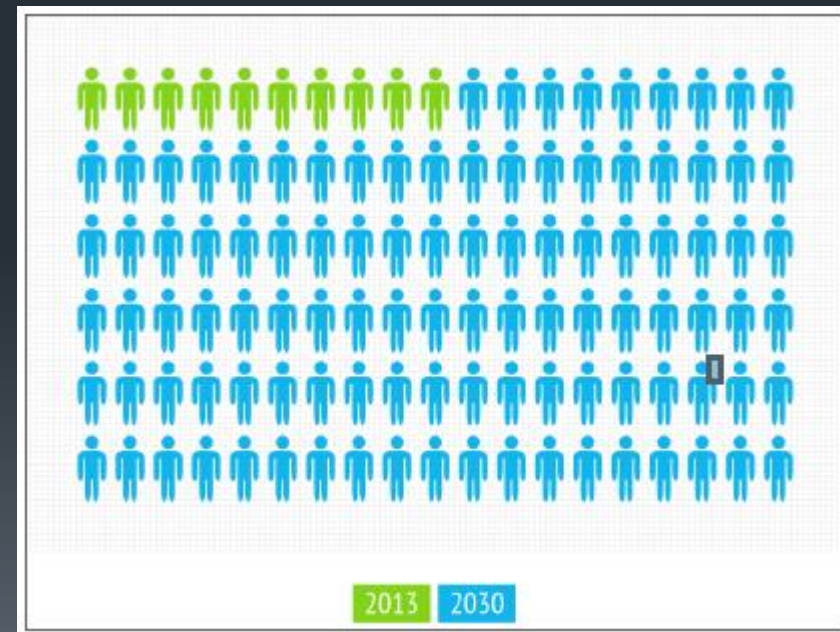
Creación de empleos, categorías, calificaciones y variedades

Plan de acción para el empleo

*Empleos directos en 2013 en Europa: 2,500 a 3,000.

*Empleos indirectos en 2013 en Europa, más de 10,000.

*Con los proyectos nuevos, en 2030, podrá ascender a más de 100,000 empleos.



Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

5.- Normatividad y Contexto social, económico y político, impacto ambiental

Aceptación social

Impactos ambientales

*Crear el marco científico y tecnológico de la estructura geotérmica, a partir del sector público como gestor del desarrollo nacional;

*Crear la estructura pedagógica en materia de geotermia en vinculación con las universidades y centros de investigación: geociencias, ciencias de los materiales, ingeniería mecánica, informática, ciencias económicas, jurídicas, etc.

Energía geotérmica en el mundo: Energía limpia



**Geotermia, energía limpia para un mundo contingente;
Posee un calorífico y luminoso futuro en el corto plazo**

Energía geotérmica, transición energética mundial

Algunas reflexiones finales:

1.- Frente al ingente consumo actual de la energía procedente de combustibles fósiles, y las contingencias mundiales debidas al impacto ambiental, es necesario un cambio de vectores energéticos.

2.- El desarrollo de fuentes alternativas de energía limpias es urgente en el contexto mundial.

3.- El Uso de energías limpias, por el carácter de su importancia para las sociedades mundiales, parece corresponder a una Gestión de Estado, o de política pública.

4.- La creación de un sistema o industria nacional para el aprovechamiento de la energía geotérmica, requiere la conformación de una eficiente y eficaz Cadena de Valor para esta industria.

5.- La Cadena de Valor debe constituirse por una estructura conformada por diferentes fases de especialidades de conocimiento científico y tecnológico, es decir, por una gama de especialidades de la ingeniería, como las ciencias de la Tierra, las ciencias energéticas y otras ramas del proceso productivo.

Energía geotérmica, transición energética mundial

Algunas reflexiones finales:

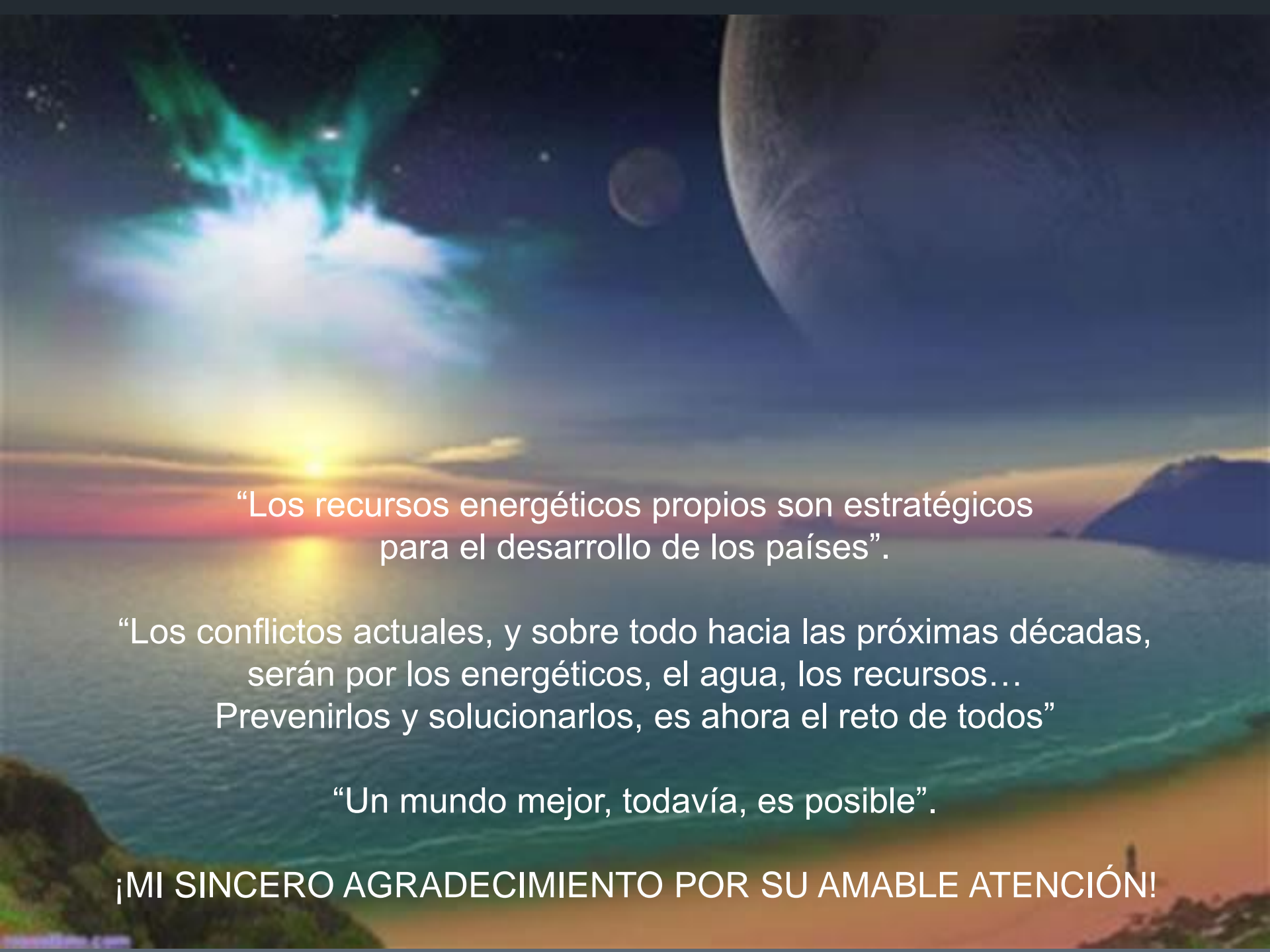
6.- El soporte de una tal Cadena de Valor para la Industria Geotérmica, necesita un eficiente sistema educativo y de formación científica y tecnológica.

7.- El sistema universitario nacional debe formar todas las ingenierías y capacidades requeridas y cuya integración, debe conllevar una gestión de política pública, así como la participación de las empresas y la sociedad en general.

8.- Dado que los recursos naturales de un país constituyen sus bienes estratégicos y prioritarios para lograr sus objetivos nacionales, particularmente los energéticos, corresponde a las políticas públicas conformar un plan energético nacional. Los recursos energéticos son elementos de la seguridad nacional.

9.- Las ingentes necesidades energéticas de las economías en el mundo, frente a la grave problemática ambiental actual, necesita, urgentemente, un cambio radical en los vectores energéticos.

10.- Centro América, y nuestra América, en general, necesitan, con urgencia, marcar sus propios rumbos de desarrollo económico, y sobre todo político y social.



“Los recursos energéticos propios son estratégicos para el desarrollo de los países”.

“Los conflictos actuales, y sobre todo hacia las próximas décadas, serán por los energéticos, el agua, los recursos... Prevenirlos y solucionarlos, es ahora el reto de todos”

“Un mundo mejor, todavía, es posible”.

¡MI SINCERO AGRADECIMIENTO POR SU AMABLE ATENCIÓN!

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

2.- Potencial Geotérmico

Evaluación de los recursos

Perspectivas del potencial europeo hacia 2020, 2030 y 2050

*Inventario del potencial geotérmicos: Carta del potencial para 2020, 2030 y 2050;



Potencial técnico realista en MW

Potencial técnico teórico (MW)
Tasa última de recuperación TR = 12.5%

Potencia teórica (PJ/Km²)
Energía teóricamente disponible

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

5.- Normatividad y Contexto social, económico y político, impacto ambiental

Aceptación social

Impactos ambientales

****Crear cursos específicos de geotermia en las universidades en paralelo con formación en diferentes ingenierías, ciencias de la Tierra, ingeniería mecánica y de la energía, geoquímica, administración, finanzas, etc. En Francia, por ejemplo, se imparten 17 ingenierías relacionadas a Ciencias de la Tierra y Energía.**

****Crear vinculación con la industria en áreas tecnológicas diversas. Promover la movilidad y capacitación laboral en el marco de normatividad moderna.**

****Establecer políticas públicas de cooperación internacional con universidades y centros de investigación internacionales.**

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

2.- Potencial Geotérmico

Evaluación de los recursos

Perspectivas del potencial europeo hacia 2020, 2030 y 2050

*La Producción de electricidad geotérmica en Europa, en 2013 fue de 6 TWh;

*En los Planes Nacionales de Acción para la Energías Renovables (NREAP), se prevé una producción de cerca de 11 TWh en 2020;

*El Potencial de Electricidad geotérmica europea total en 2030 se prevé alcanzará 174 TWh;

*El potencial económico sobrepasará 4,000 TWh en 2050.

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

2.- Potencial Geotérmico

Evaluación de los recursos

Perspectivas del potencial europeo hacia 2020, 2030 y 2050

*El Potencial económico de la energía geotérmica será, en 2020: *21.2 TWh para la Unión Europea-28; y *70.8 TWh para el potencial total de Europa;

*El Potencial económico de la energía geotérmica en 2030 será de: 34 TWh para la UE-28; 174 TWh para el potencial total de Europa;

*El potencial económico de la energía geotérmica en 2050, será de : 2,570 TWh para la UE-28; En promedio de 4,000 TWh para el potencial total de Europa.

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

3.- Aspectos Financieros y Económicos

Ventajas y oportunidades

Financiamiento de proyectos

Costos de proyectos, Costos de perforación

Seguridad y riesgos

Acceso a las redes de distribución eléctrica nacional

Procesos de otorgamiento de licencias

Retos e impactos ambientales

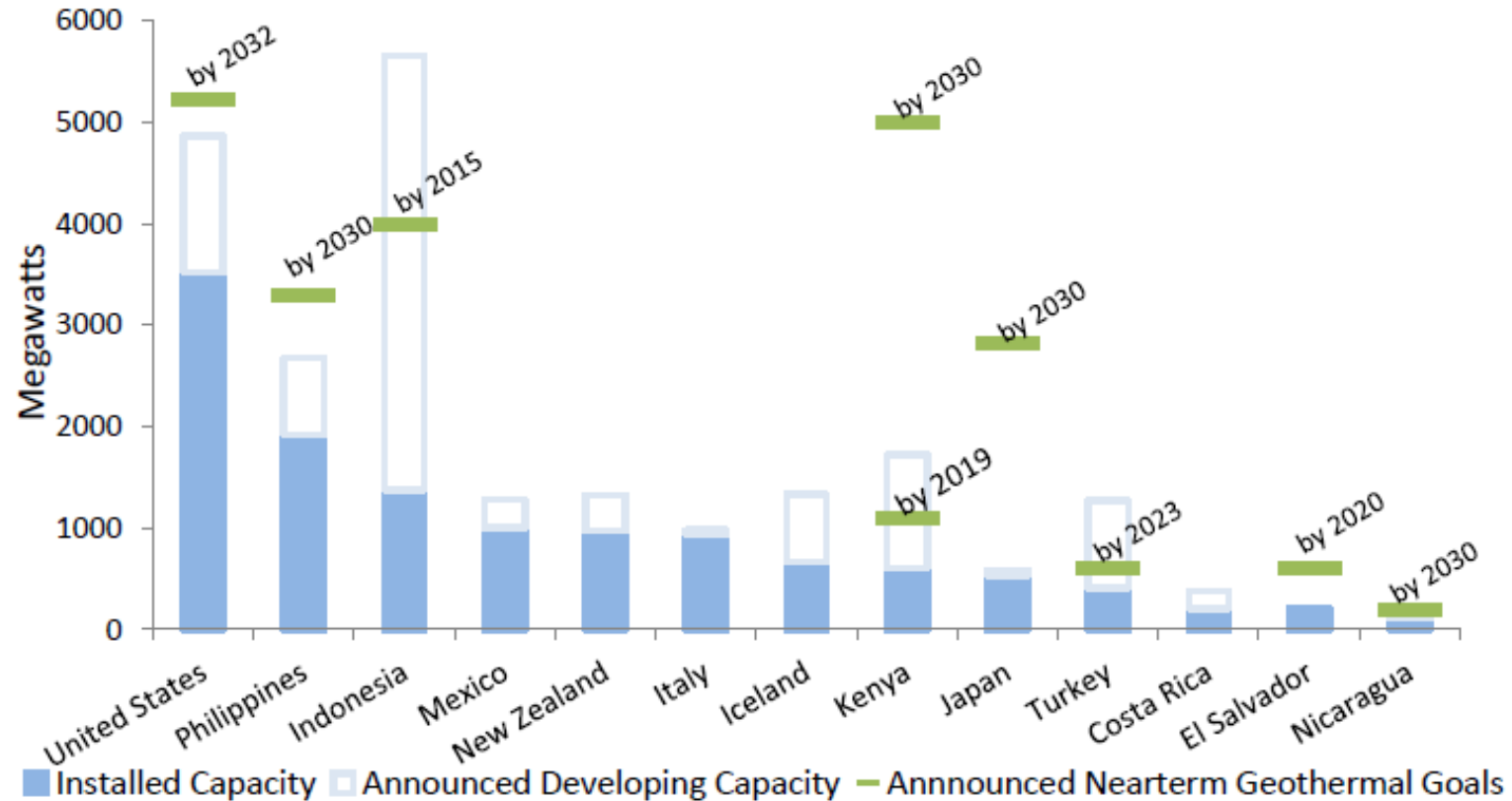
*Elementos para el financiamiento de explotación geotérmica, desde la fase inicial: *Inversión de capitales y el régimen de aseguramiento para cubrir los riesgos en la exploración geológica;

*Un Proyecto de explotación geotérmica posee diferentes fases: Arranque de la exploración, Desarrollo de los recursos, Construcción y Explotación.

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Las plantas geotérmicas; Actualidad y Perspectivas



Note: "Nearterm Goals" includes government and private sector development goals. Mexico has set a general renewable energy goal of 35% of generation from renewables by 2024; however, this goal is not geothermal specific. The U.S. goal is Imperial Irrigational District's objective of building out geothermal capacity at the Salton Sea Resource Area by 2032.

Perspectivas de desarrollo y capacidad en el ámbito internacional.

Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

Potencia instalada

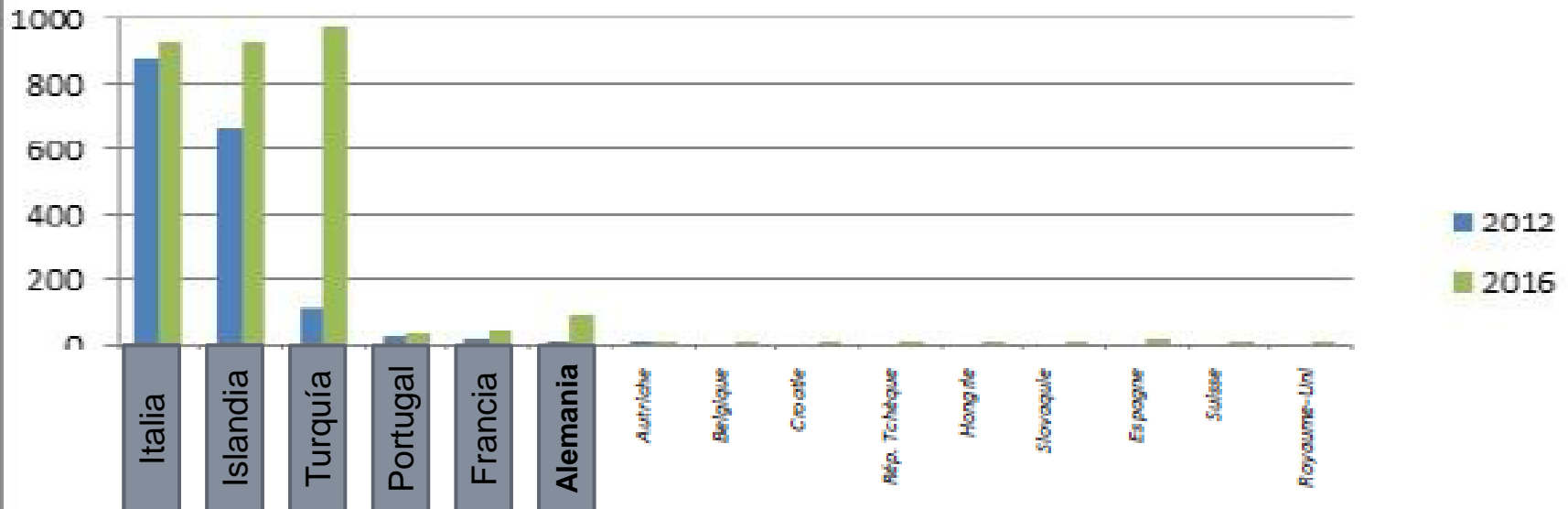
Mercados nacionales o internacionales

Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas

*La electricidad geotérmica es utilizada en diversos países , no sólo en los de tradición geotérmica como Italia e Islandia.

Potencia instalada en Europa: repartición por países en MWe.



Estructura Geotérmica – Electricidad

Contextos y Perspectivas de Desarrollo

Factores estructurales de ingeniería e investigación en Geotermia

1.- Evolución del mercado (Necesidades Energéticas)

Centrales geotermo-eléctricas

Potencia instalada

Mercados nacionales

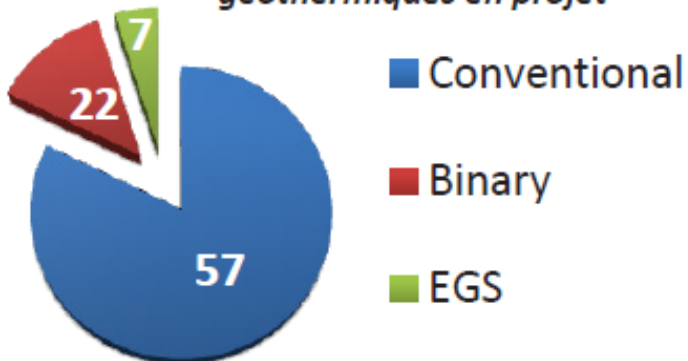
Factor de carga

Tecnología de las centrales geotérmicas



Larderello, Italia

Nombre de centrales eléctricas
géothermiques en projet



A CORTO PLAZO

Conventionnelle = 73 %
Cycle binaire = 20 %
EGS = 7 %