

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FISICA

DEPARTAMENTO DE FISICA DE LA TIERRA

CARRERA DE GEOLOGIA

INTRODUCCION A LA GEOTERMIA

POR: TANYA ORDONEZ



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE HONDURAS



cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

giz



CONTENIDO

- GEOTERMIA
- ANTECEDENTES HISTORICOS
- MARCO CONCEPTUAL
 - Estructura de la Tierra
 - Gradiente Geotérmico
 - Recurso Geotérmico
- EXPLORACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO
- SISTEMA GEOTERMICO
- USOS DE LA ENERGIA GEOTERMICA

GEOTERMIA

Es la energía proveniente del calor que existe en el interior de la Tierra.

El origen de la palabra es griego, de las raíces “geos” (la Tierra) y “thermos” (calor), dando el significado compuesto "calor de la Tierra".

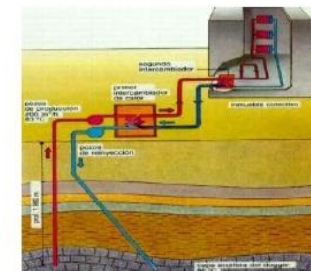
Actualmente este término se utiliza para describir los fenómenos térmicos internos de la Tierra como también el conjunto de todos los procesos que se utilizan para extraer esta energía para el uso humano.

Es una energía renovable, prácticamente inagotable, con una madurez tecnológica sólida, limpia, versátil y útil para generar electricidad, entre otras múltiples aplicaciones de usos directos.

INDICADORES: •VOLCANES •FUMAROLAS
•MANANTIALES CALIENTES

USOS

- Generación eléctrica.
- Aprovechamiento directo del calor.
- Calefacción y ACS.
- Refrigeración por absorción.



Antecedentes Históricos



La presencia de volcanes, fuentes termales y otros fenómenos termales debieron haber inducido a nuestros ancestros a suponer que partes del interior de la Tierra estaban calientes; sin embargo, no fue hasta un período entre los siglos XVI y XVII, cuando las primeras minas fueron excavadas a algunos cientos de metros de profundidad, que el hombre dedujo, por simple sensaciones físicas, que la temperatura de la Tierra se incrementaba con la profundidad.



El desarrollo de la geotermia se inicia en el siglo XVI cuando la actividad minera se intensifica, propiciando así la necesidad de excavaciones de pozos en los cuales se observa que la temperatura aumenta proporcional a la profundidad.

La explotación industrial de la energía geotérmica comenzó en 1827 con el uso del vapor del Gaiser para extraer ácido bórico del volcán de lodo en Larderello, Italia. Años después, el príncipe Piero Ginori Conti impulsa la construcción en el lugar de la primera central eléctrica geotérmica.

En 1904 se produce, por primera vez en el mundo, electricidad con vapor geotérmico.

En 1958 Nueva Zelanda inaugura su primera planta.

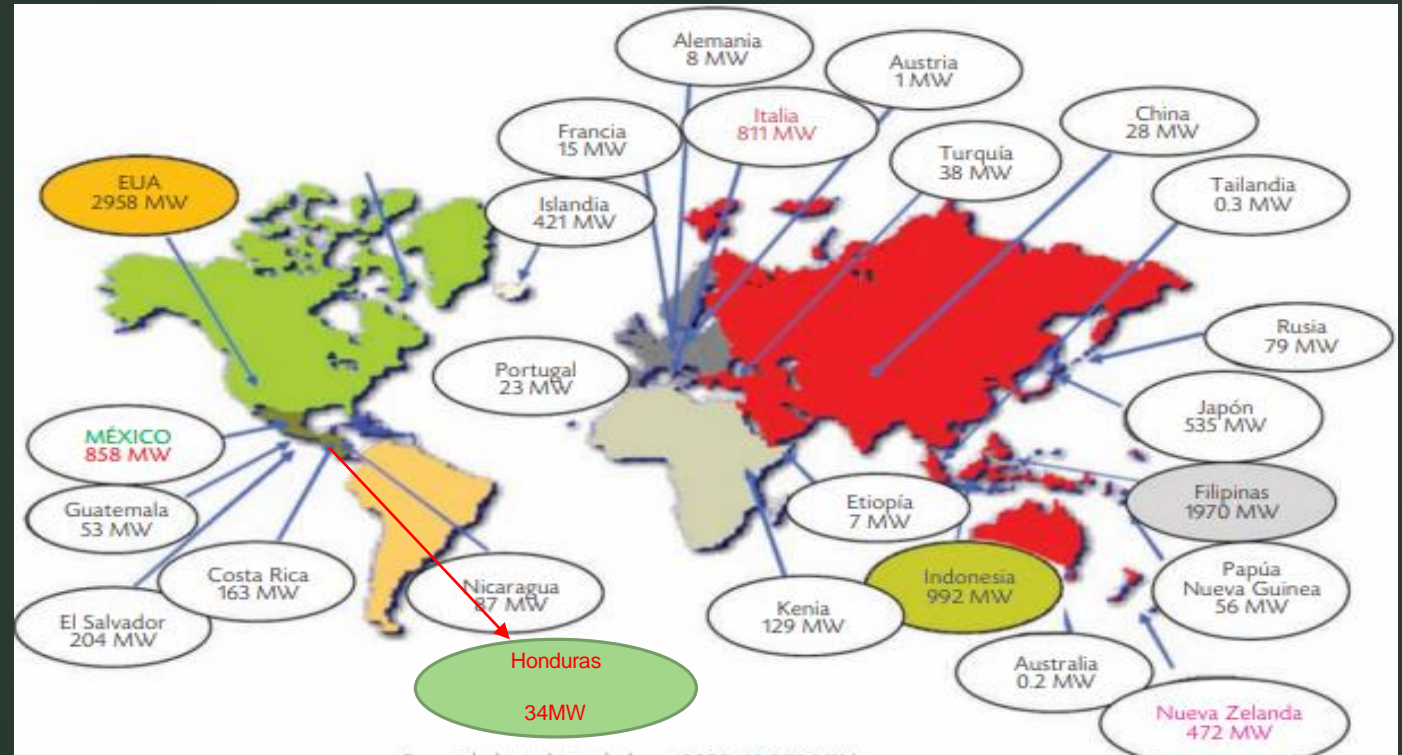
En 1959, inicia operaciones la planta Pathe en México.

En 1960, se inicia la generación eléctrica con geotermia en los Geysers, EU.



INICIOS DE LA GEOTERMIA

En 1904 se llevo a cabo el primer intento de generar electricidad a partir de vapor geotérmico en Larderello. El éxito de estas experiencias fue una clara demostración del valor industrial de la energía geotérmica y marcó el comienzo de una forma de explotación que se ha desarrollado significativamente desde entonces.



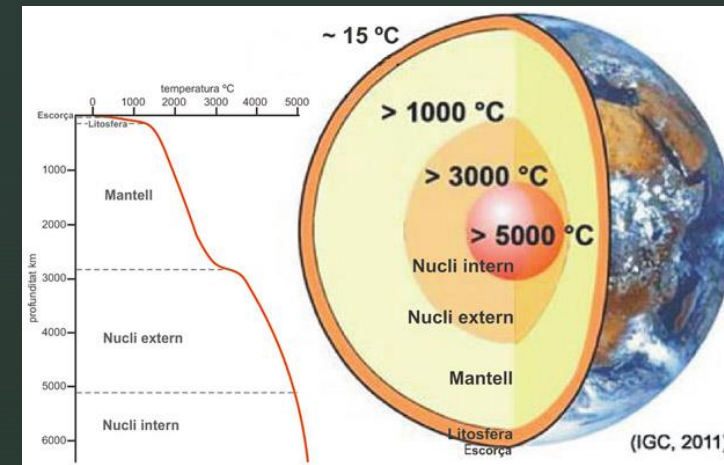
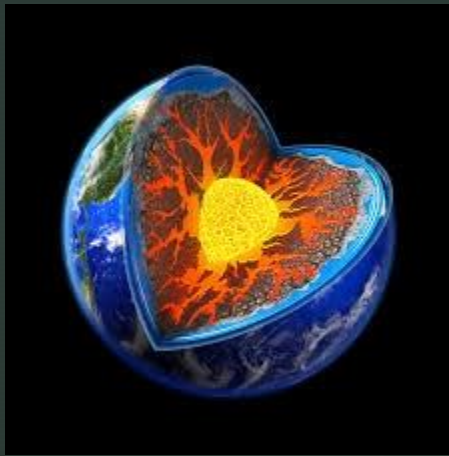
Calor en el interior de la Tierra

El origen del calor terrestre es la suma de procesos físicos y químicos que tienen lugar de forma diferenciada en su interior.

Calor latente de cristalización: límite entre el núcleo interno y el núcleo externo. El núcleo interno se halla en estado sólido mientras que el núcleo externo es líquido. En el núcleo externo se dan reacciones de cristalización de forma continuada; estas reacciones son exotérmicas y por tanto desprenden calor.

Calor remanente de la formación del planeta: Se trata del calor, aún presente, producto de las colisiones entre los residuos estelares del disco protoplanetario que dio origen a la Tierra.

Reacciones fisicoquímicas exotérmicas: manto terrestre. Las elevadas presiones y la alta temperatura provocan que los minerales sean inestables y se produzcan cambios de fases continuos, que a su vez generan energía en forma de calor.



Descomposición radiogénica de isótopos: corteza y manto. Las rocas que forman la litosfera (compuesta por la corteza y la parte superior del manto), son ricas en minerales que contienen elementos radioactivos como los isótopos ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K .

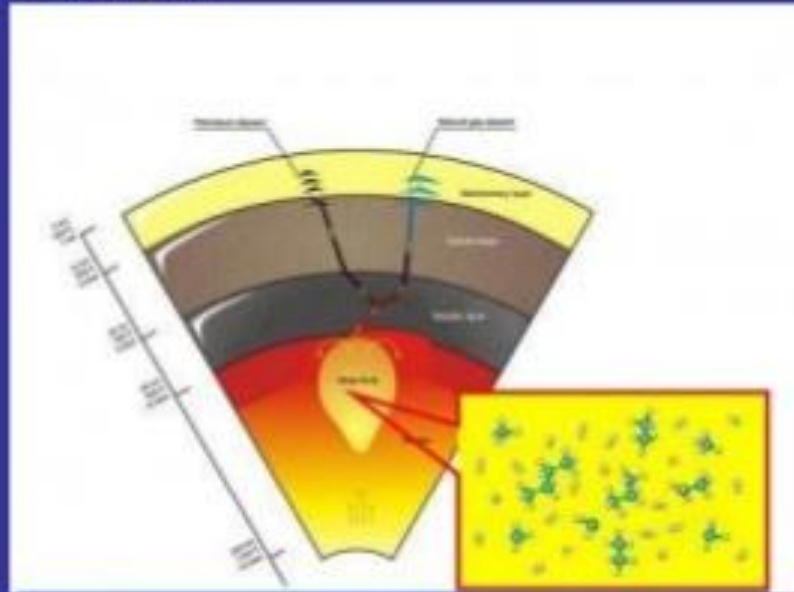
Calor cinético o de rozamiento: entre el núcleo externo y el manto terrestre. Es la energía en forma de calor que se libera como consecuencia del rozamiento producido por la distinta respuesta del núcleo externo y el manto.

Gravitación: La gravedad ejerce una fuerza de compresión hacia el centro del planeta, y en el proceso de contracción de la masa terrestre se genera calentamiento por fricción.

Calor interno de la Tierra

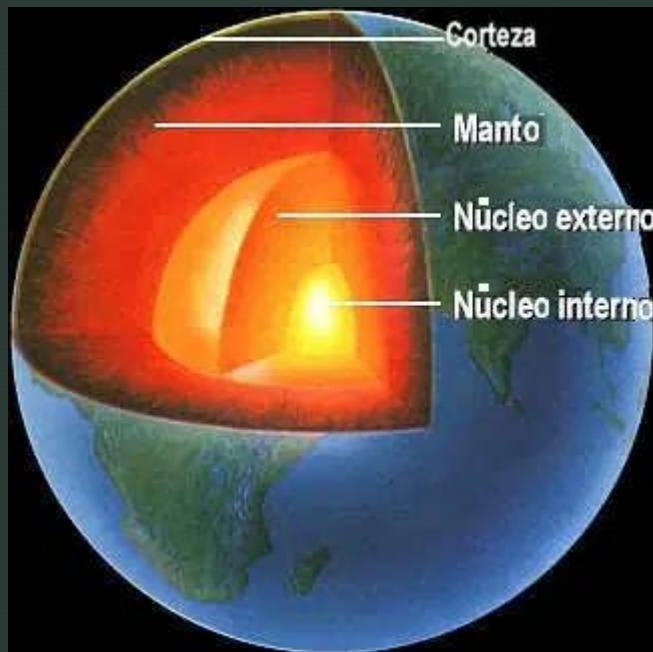
El origen del calor interno de la Tierra se debe a varios factores:

- La energía acumulada durante su proceso de formación, debido a los numerosos impactos de cuerpos celestes.
- La presencia de elementos radiactivos en el interior de la Tierra, que al desintegrarse, emiten grandes cantidades de energía.



ELEMENTOS TEÓRICOS

- Estructura de la Tierra.
- Composición de la corteza
- Procesos internos de la Tierra (Dinámica)
- Deformación de la corteza
- Estructuras Geológicas
- Caracterización física de la corteza

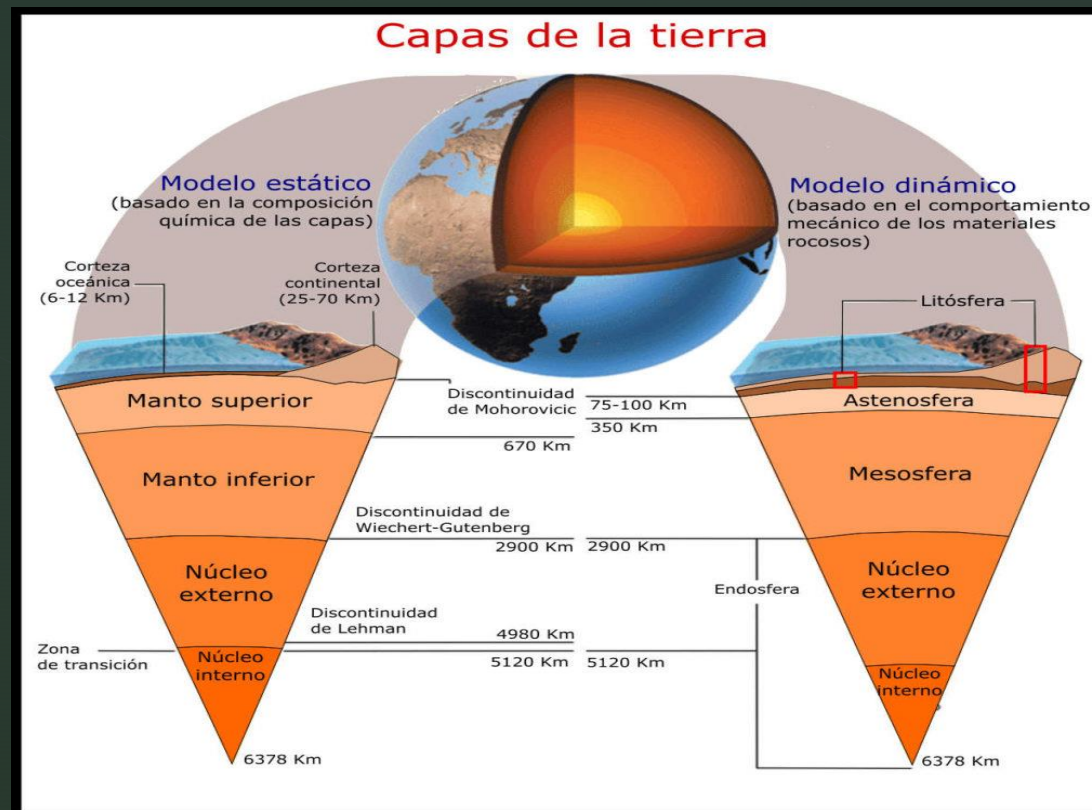


Estructura interna de la Tierra

La profundidad de la corteza terrestre va desde los 5 kilómetros hasta 70 kilómetros en su punto de mayor altitud. Existen dos tipos de corteza: la oceánica y la continental. La primera es la que se encuentra cubierta por las masas acuosas que conforman los grandes océanos y mares.

La composición de la corteza terrestre incluye rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.

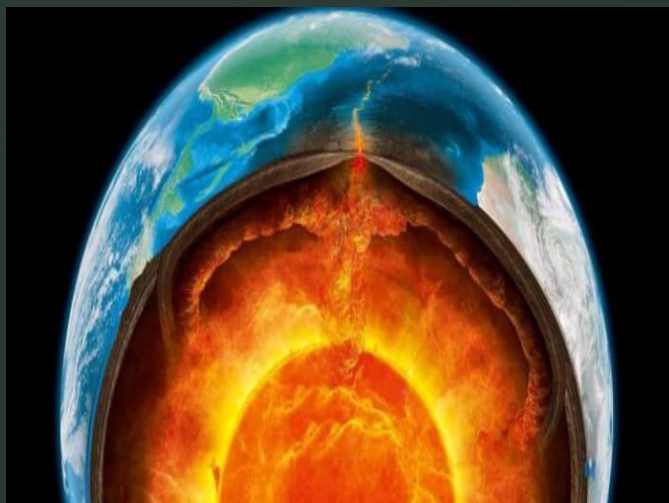
A mayor profundidad, mayor será la temperatura de la corteza terrestre. El rango promedio que abarca esta capa va desde 500 °C hasta 1000 °C en el punto más cercano al manto.



El mayor componente de la corteza terrestre es sílice, representado en diversos minerales que lo contienen y que se encuentran allí.

La corteza terrestre junto con una fracción rígida del manto conforman la litosfera, la capa más externa de la Tierra.

La corteza sólida de la Tierra actúa como un aislante de calor para el interior del planeta. El calor excesivo y la presión dentro de la tierra hacen que el magma caliente fluya en las corrientes de convección. Estas corrientes causan el movimiento de las placas tectónicas que forman la corteza terrestre.



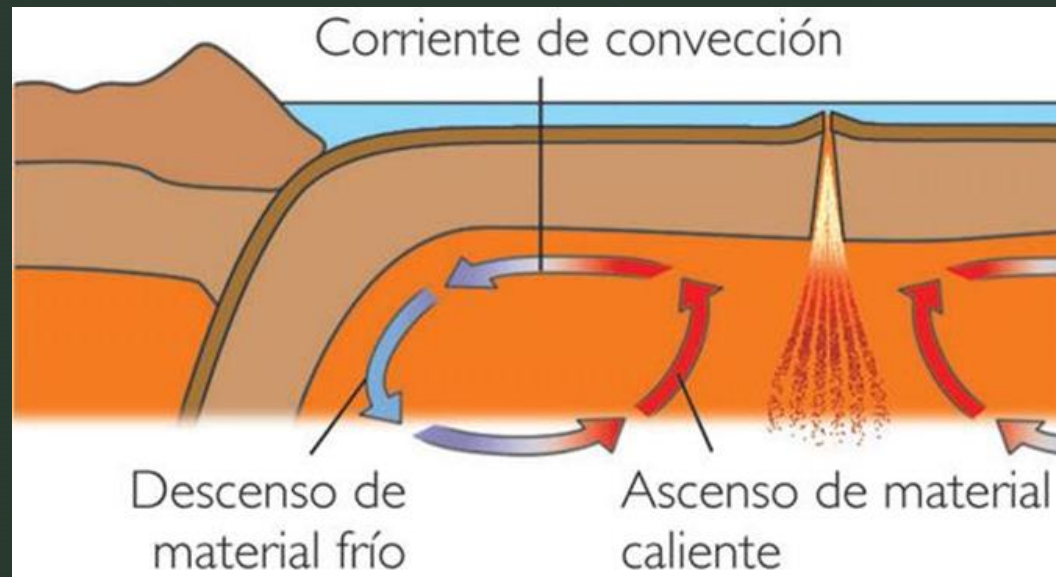
CONVECCION TERMICA EN EL MANTO

Se denomina litosfera a la capa más externa de la Tierra y que está formada por la corteza y la parte más externa del manto.

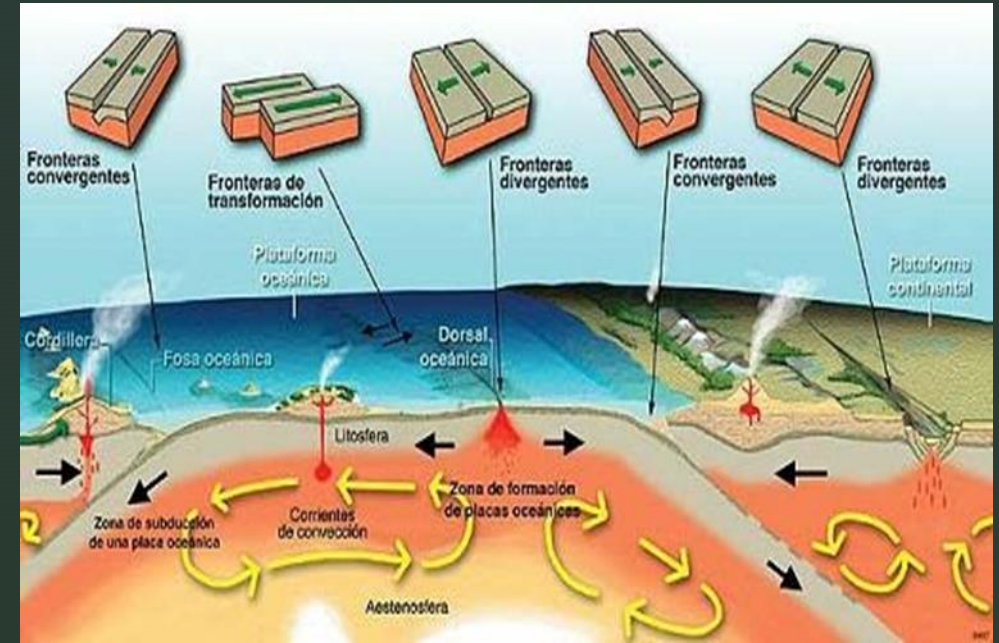
Este conjunto se comporta como un elemento rígido que se mantiene “flotando” sobre la astenósfera, una capa del manto que tiene, a escala geológica, un comportamiento plástico.

En las zonas internas del manto se producen fenómenos de convección térmica.

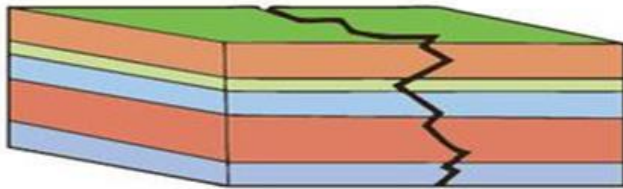
Estos fenómenos térmicos del interior de la Tierra provocan movimientos internos de materiales en el globo y producen la formación de nueva corteza en las denominadas dorsales oceánicas, zonas con mínimos valores de espesor cortical.



Los terremotos y los volcanes son el resultado a corto plazo de este movimiento tectónico, mientras que el **movimiento de continentes enteros** a lo largo de millones de años (deriva continental) es el resultado a largo plazo de la tectónica de placas.

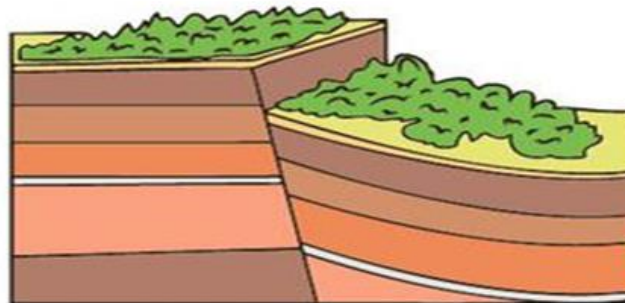


Estructuras geológicas



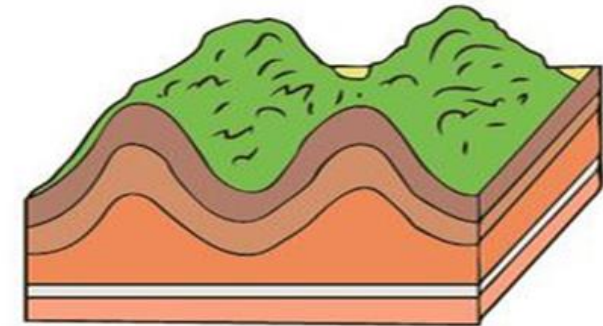
Diaclisas

Son **fracturas en las rocas**, sin desplazamiento



Fallas

Son **fracturas en las rocas**, con desplazamiento



Pliegues

Son **ondulaciones de capas**

TIPOS DE ROCAS

magmáticas

sedimentarias

metamórficas



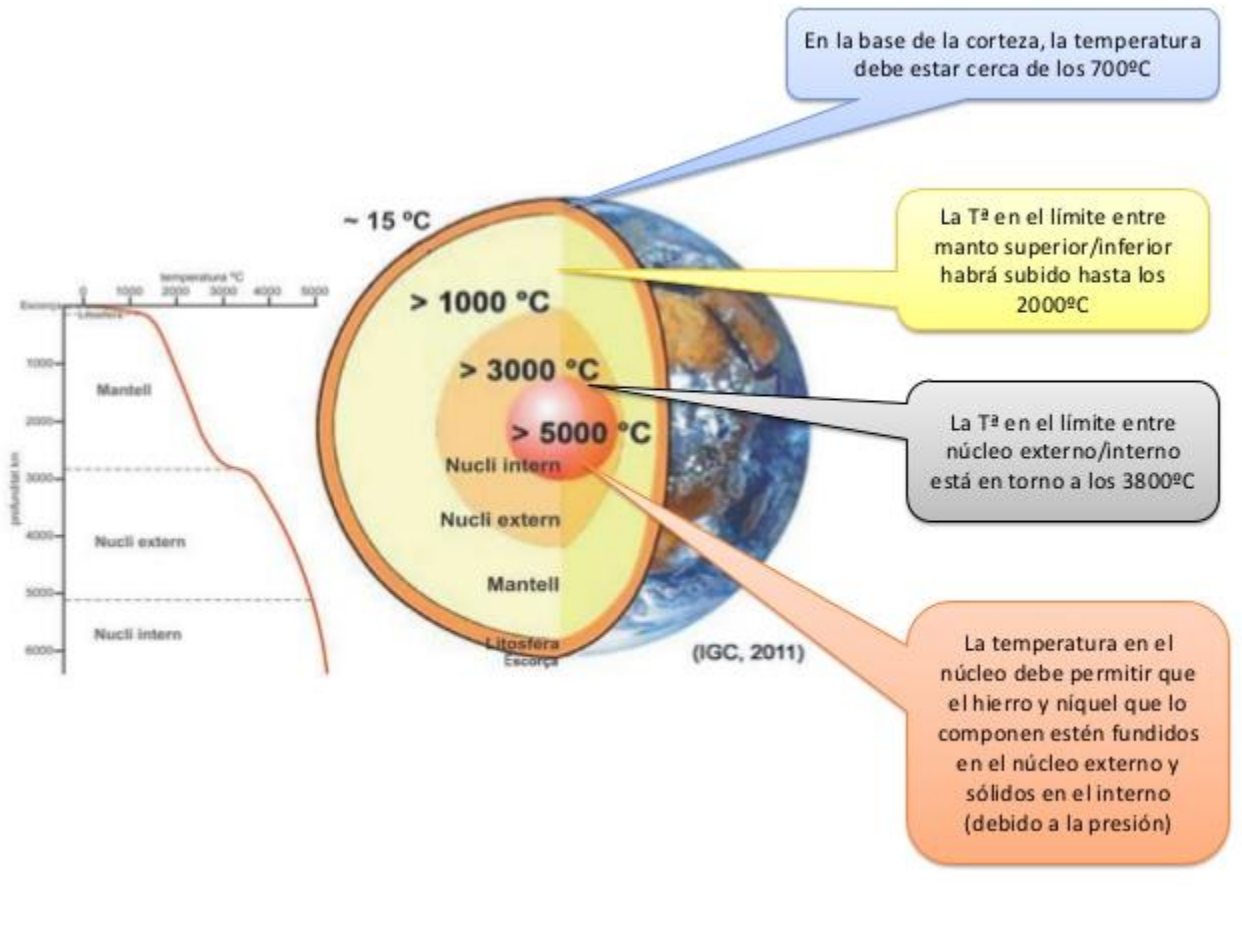
COMPOSICION DE LA CORTEZA

La corteza del globo terráqueo posee tres capas diferenciadas: capa sedimentaria, capa granítica y capa basáltica.

-La capa sedimentaria está formada por los sedimentos rocosos posados sobre los espacios continentales. Se manifiesta en las rocas replegadas en forma de cordilleras.

-La capa granítica forma la base o fundamento de las zonas continentales no sumergidas. Al igual que la anterior, es una capa discontinua que flota en equilibrio gravitacional sobre la capa basáltica.

-Por último, la basáltica es una capa continua que envuelve por completo la Tierra y que marca la separación definitiva entre corteza y manto terrestre.

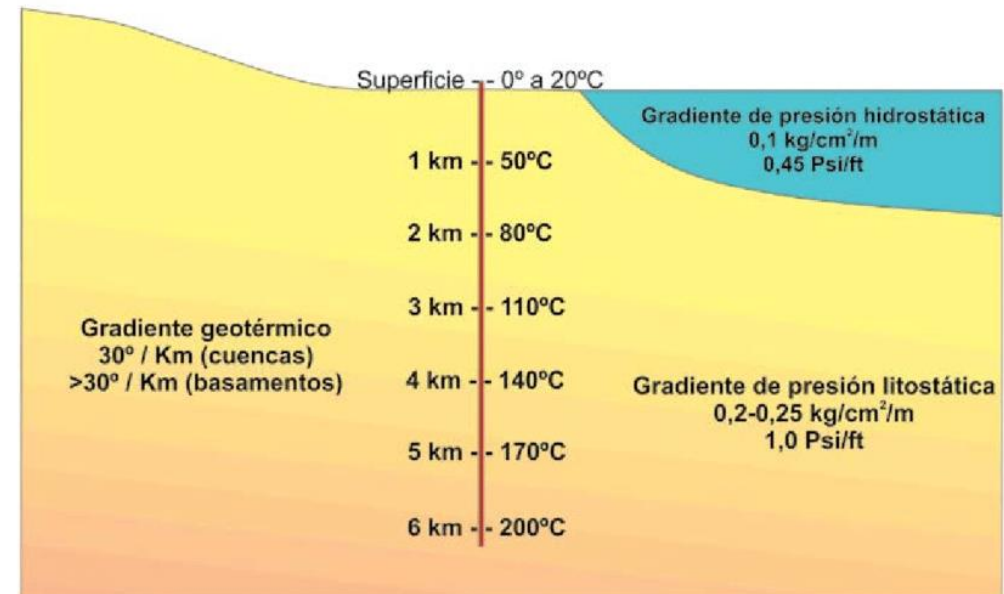


CARACTERIZACION FISICA DE LAS ROCAS EN LA CORTEZA

Temperatura
 Densidad
 Resistividad Eléctrica
 Susceptibilidad Magnética

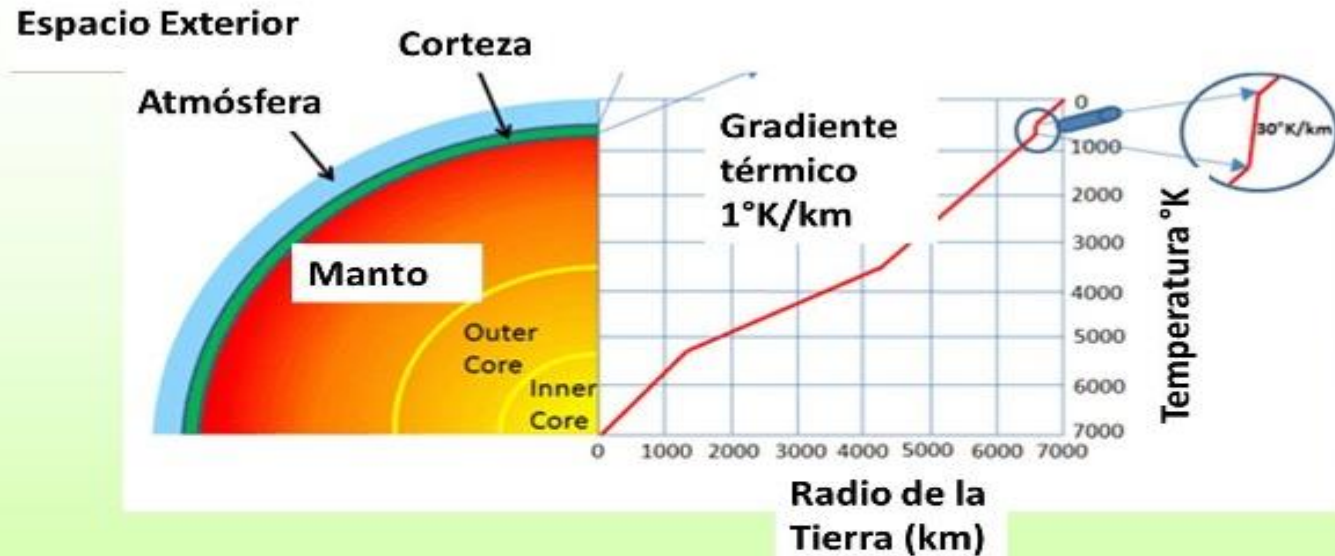
Los minerales magnéticos a temperaturas por arriba de su correspondiente punto de Curie se comportan paramagnéticamente, con una susceptibilidad muy pequeña.

La temperatura de Curie es aquella a la cual los minerales magnéticos pierden su ferromagnetismo (aproximadamente 580 °C para la magnetita)



GRADIENTE GEOTERMICO

Gradiente geotérmico y la estructura de la Tierra

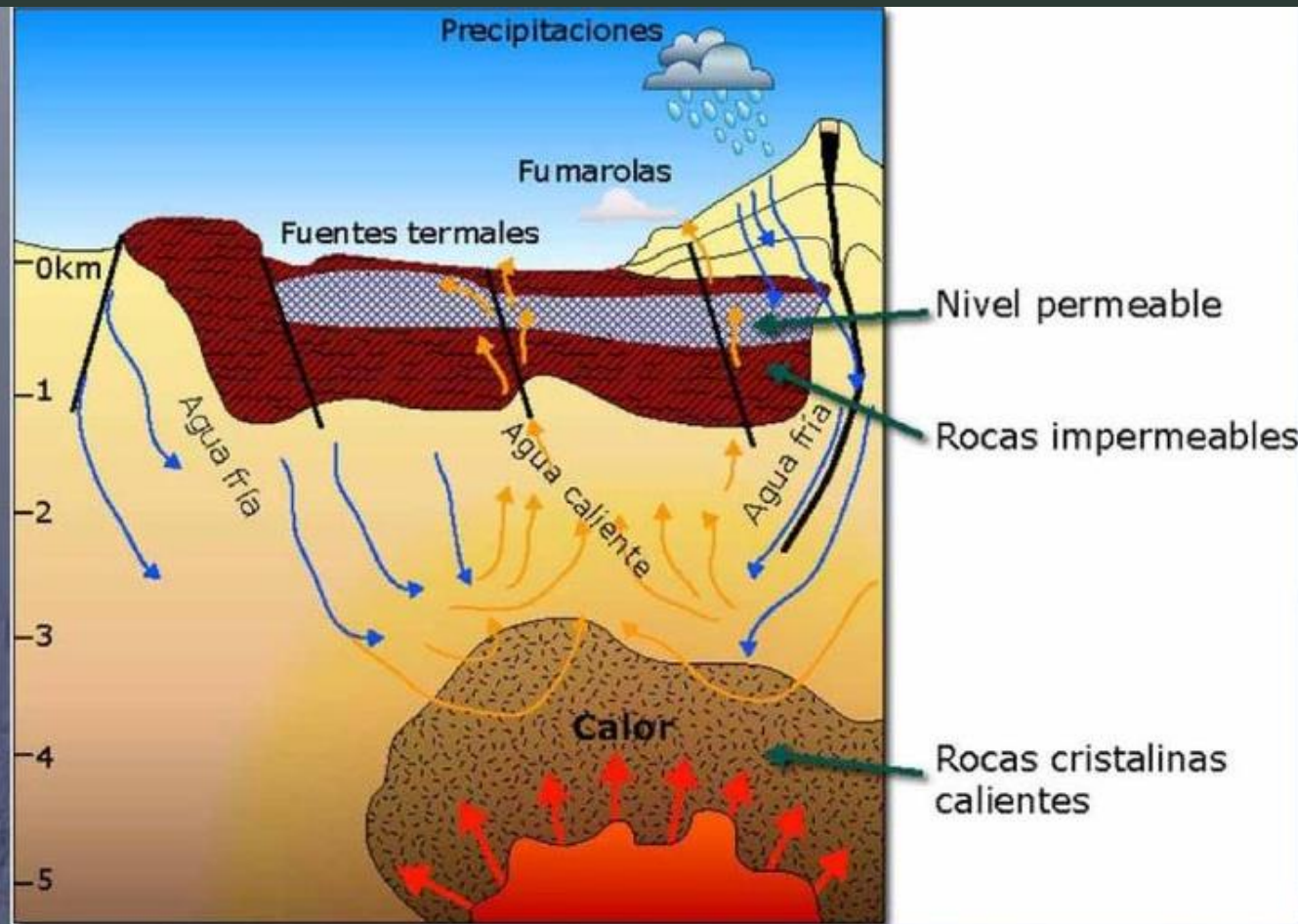


Se denomina **Gradiente geotérmico** a la variación de temperatura, que aumenta con la profundidad en la corteza terrestre. El valor promedio de este gradiente es de 3 °C/100m de profundidad, considerando que se avanza desde la superficie hacia el centro de la esfera terrestre.



El flujo de calor desde el interior de la Tierra hacia los estratos superiores de la corteza produce cambios de temperatura a distintas profundidades, conocidos como gradientes geotérmicos

RECURSO GEOTERMICO



Debe de cumplir condiciones geológicas y económicas necesarias para la explotación del recurso geotérmico del subsuelo.

GEOLOGIA

Composición
Estructuras
Fuentes de calor
Fuentes hídricas

GEOQUIMICA

Clasificación de
aguas
Clasificación
de gases
Temperaturas

GEOFISICA

Caracterización
física de la
corteza

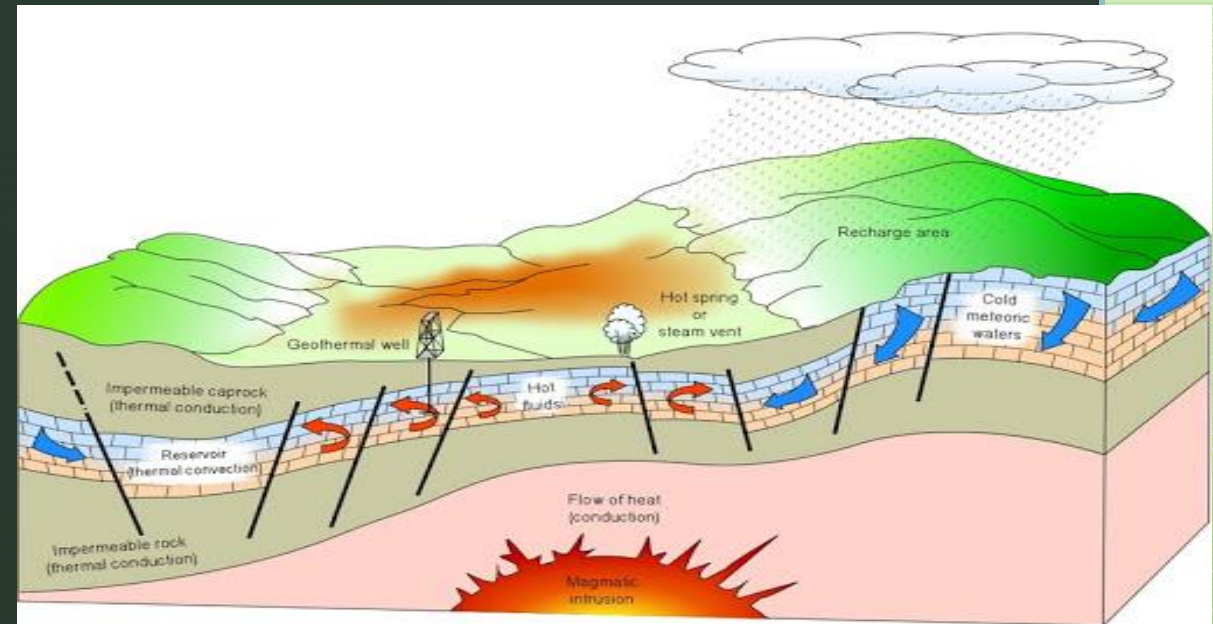
EXPLORACION : GEOLOGICA, GEOFISICA Y GEOQUIMICA

El recurso geotérmico, de acuerdo con lo señalado anteriormente, lo constituye el calor del interior del globo. Es por ello que el objetivo de la geotermia es el aprovechamiento de esa energía calorífica del interior de la Tierra.

Para que esa energía pueda ser aprovechada se necesita que se acumule en algún cuerpo del interior de la corteza.

La forma más común de concentración es en el agua que rellena los poros y huecos de las formaciones rocosas que constituyen la litosfera y actúa como captador y transmisor de la energía geotérmica.

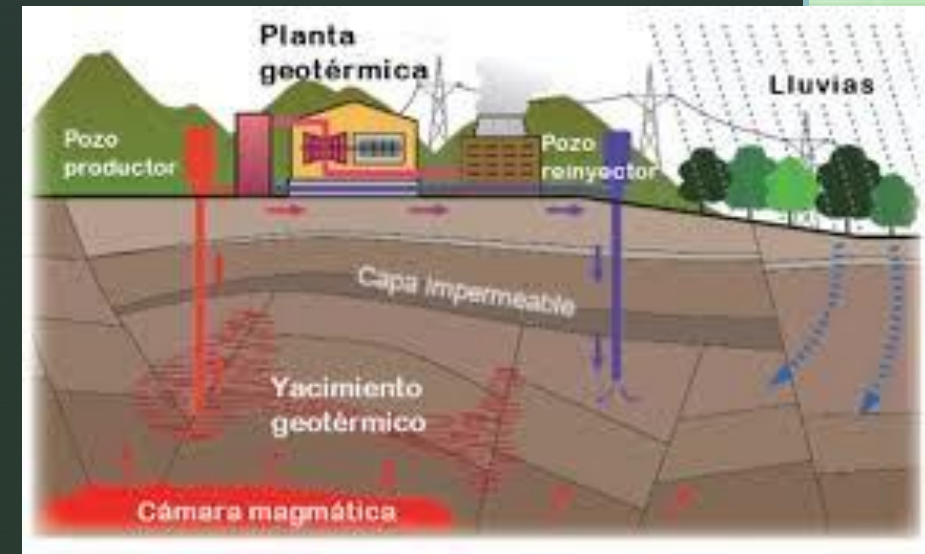
De esta forma, el fluido geotérmico (agua cargada en sales minerales) en condiciones de presión y temperatura adecuadas, sirve de vehículo para el aprovechamiento de la energía proveniente del subsuelo.



Se denomina **recurso geotérmico** a la porción de calor desprendido desde el interior de la Tierra que puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas.

De este modo, las condiciones clásicas para la existencia de un yacimiento geotérmico son la presencia de:

- un foco de calor activo,
- un material permeable con su base impermeable (el almacén geotérmico) por el que circula un fluido (en general agua de origen meteórica, en fase líquida o vapor),
- y una cobertera o sello que impida (o al menos limite) el escape del fluido.



Yacimiento geotérmico espacio de la corteza terrestre en el que se localizan materiales permeables que albergan un recurso geotérmico susceptible de ser aprovechado por el hombre.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS GEOTERMICOS

- Los recursos geotérmicos se pueden clasificar en sistemas convectivos (o hidrotermales), sistemas conductivos y acuíferos profundos.

Sistemas convectivos (hidrotermal)

Continental: Temperatura alta (>180 °C), intermedia (180-100 °C) y baja (<100 °C). Usos directos y eléctricos.

Submarino: Temperatura alta (>130 °C). Uso potencial eléctrico.

Sistemas conductivos

Somero (<400 m): Temperatura baja (<100 °C). Usos directivos (y GHP).

Roca seca caliente: Temperatura alta (>130 °C) e intermedia (130-100 °C). Usos prototipos y potencial eléctrico y directo.

Cuerpos de magma: Temperatura alta (>180 °C), intermedia (180-100 °C) y baja (<100 °C). Uso eléctrico.

Sistemas acuíferos profundos

Acuíferos hidrostáticos y Geo-presurizados: Temperatura alta (>130 °C), intermedia (130-100 °C) y baja (<100 °C). Usos directos y potencial eléctrico.

- Los recursos geotérmicos también pueden dividirse por sus temperaturas y su tipo de aprovechamiento. Así, pueden ser:
 - recursos de temperatura alta (más de 180°C)
 - media (de 180 a 100°C)
 - baja (menos de 100°C)

Recursos geotérmicos		Temperatura	Tecnología	Aplicación
CLASIFICACIÓN POR ENTALPÍA	Muy baja entalpía	5-25° C	Utiliza bomba de	Usos directos climatización
	Baja entalpía	25-50°C	Puede precisar bomba de calor	Usos directos
		50-100°C		Usos directos
	Media entalpía	100-150°C	Ciclos binarios	Electricidad Procesos
	Alta entalpía	>150°C		Electricidad

SISTEMA GEOTERMICO

Es un sistema natural en el que se da un transporte de calor anómalamente alto, ya sea por medio de conducción y/o convección.

Los sistemas geotérmicos existentes en la Tierra se clasifican, en forma general, con base en la temperatura del fluido endógeno que se extrae, o del fluido que se inyecta para la extracción de calor de la roca.

- Cuando la temperatura del fluido es mayor de 200 grados centígrados, se le considera un recurso de alta entalpía (o alto contenido energético), ideal para la producción de electricidad con sistemas convencionales de generación.
- Si las temperaturas del fluido están en el intervalo de 100 a 200 grados centígrados, o bien son menores de 100 grados centígrados, se les denomina sistema de mediana o baja entalpía, respectivamente.

CONDUCCION

consiste en la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura sin que se produzca transferencia de materia entre ellos.

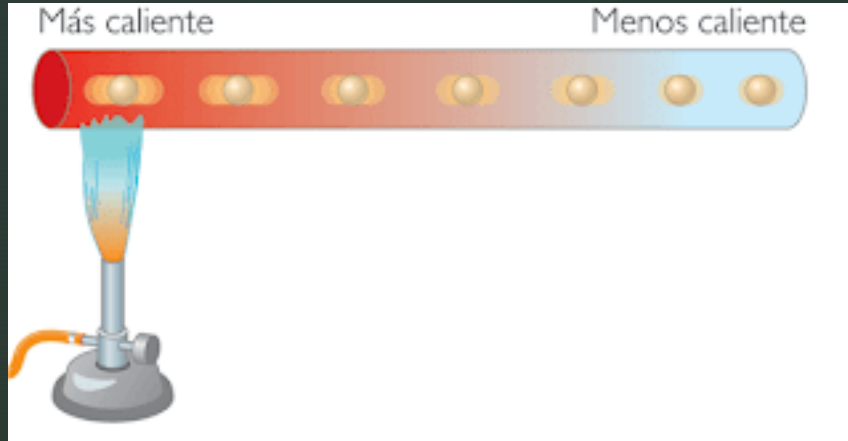
CONVECCION

En este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas.

CONVECCION NATURAL

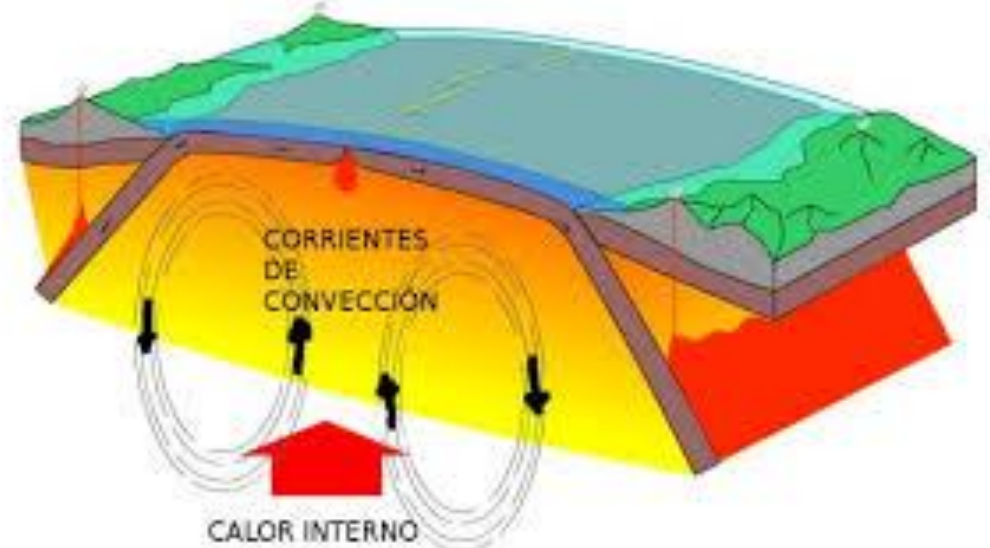
- El propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

CONDUCCION



CONVECCION

El calor interno que conserva la **Tierra** se desprende poco a poco alcanzando la superficie. En ese recorrido, la **energía** calorífica provoca la formación de corrientes de **convección**.



Entre los sistemas geotérmicos más conocidos se tienen a los siguientes:

a) **Sistemas hidrotermales convectivos:**

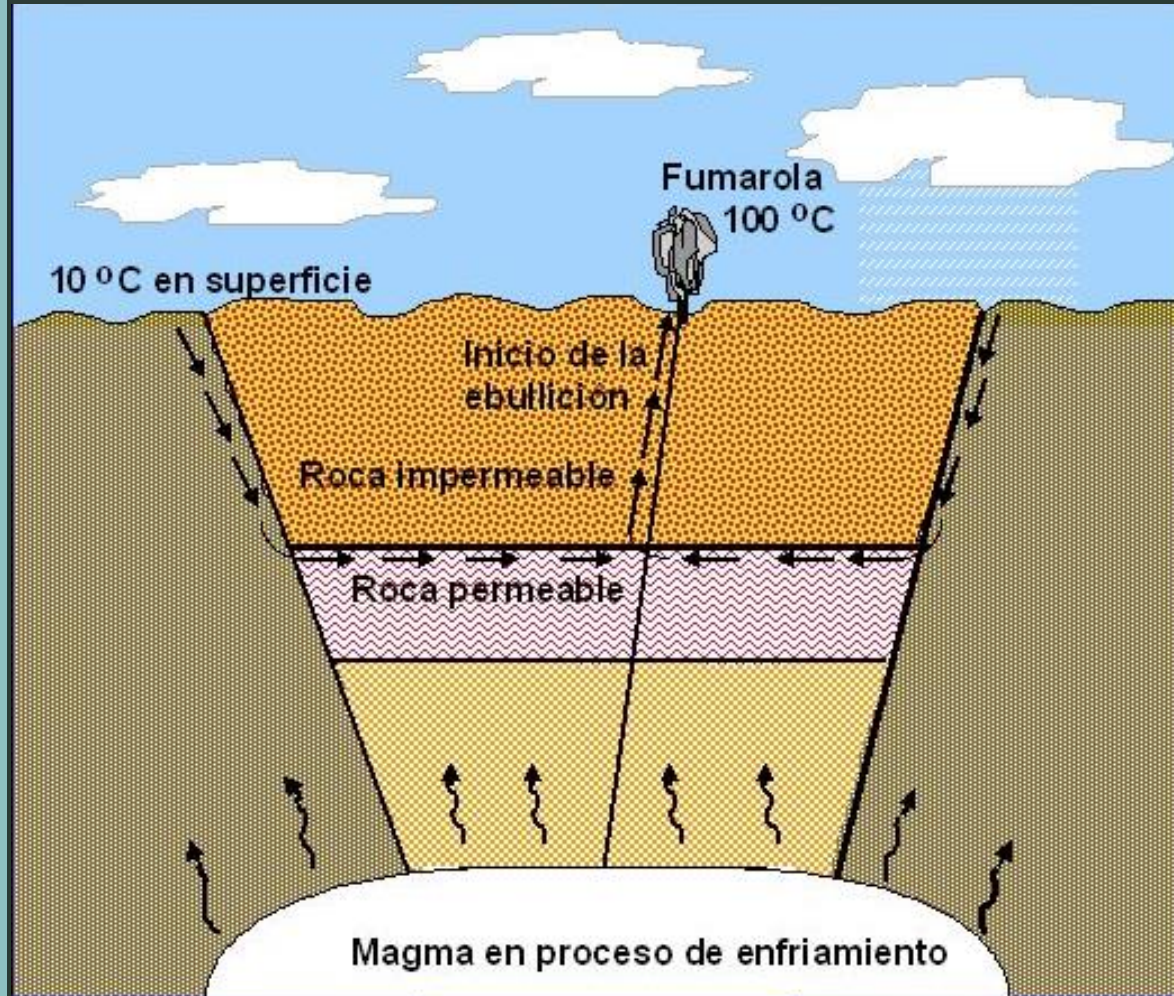
Están constituidos por una fuente de calor, fluidos que constituyen el medio de transporte del calor, roca permeable donde se almacenan los fluidos y una capa de “roca sello”.

Los fluidos se infiltran en la corteza terrestre a través de poros y fracturas hasta alcanzar un yacimiento, donde se almacenan por largo tiempo.

La existencia de estos yacimientos se manifiesta en la superficie por la presencia de manantiales calientes, fumarolas, géisers, lagunas de lodo hirviente o suelos calientes.

Estos yacimientos pueden ser de vapor o líquido dominante de alta temperatura, o de líquido de mediana o baja temperatura

Sistema Hidrotermal Convectivo



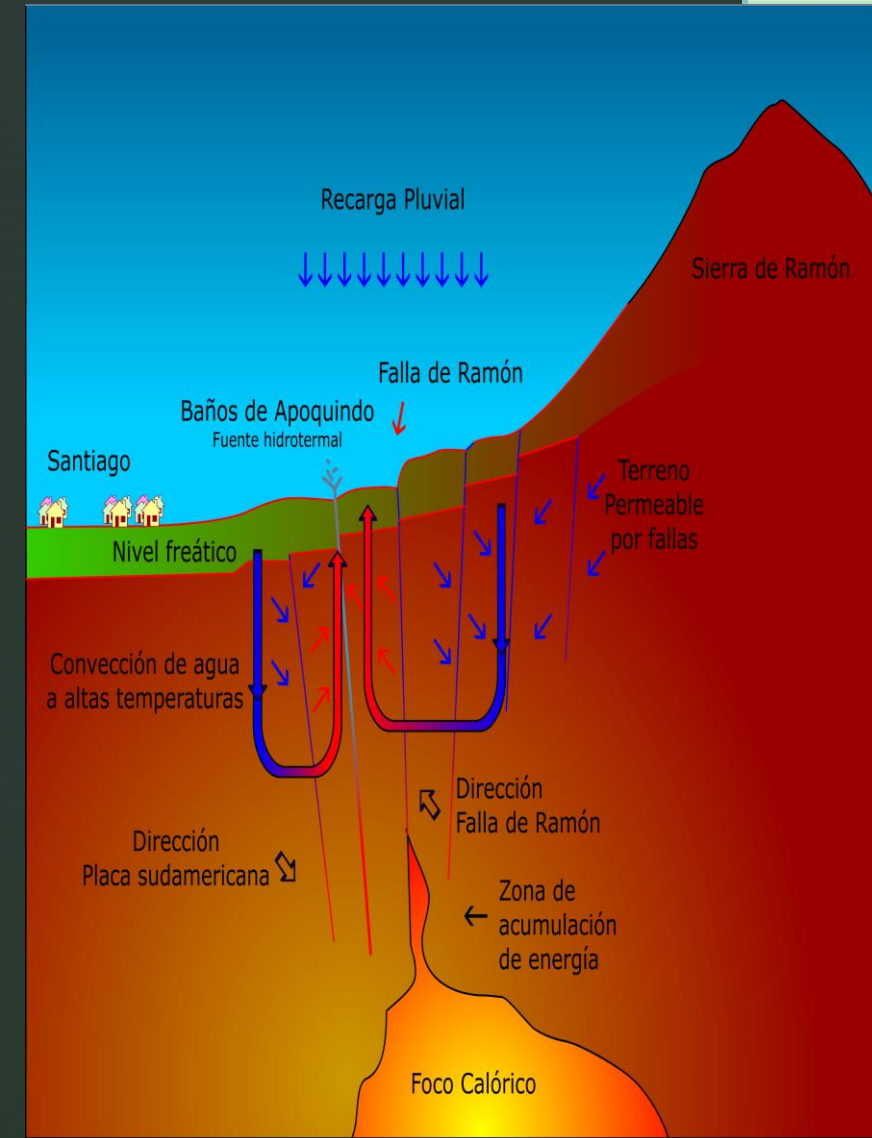
Se encuentran formados por:

- Una fuente de calor,
- Agua (líquido y/o vapor)
- La roca en donde se almacena el fluido.

Un sistema hidrotermal tiene elementos que facilitan la extracción de calor: roca caliente, suministro natural de agua y permeabilidad.

En la formación de un sistema hidrotermal convectivo, se necesitan diversas variables, algunas de ellas son las siguientes:

- Una fuente de calor.
- Un área de recarga hídrica.
- Formaciones geológicas permeables que fungen como reservorio y permiten la circulación de fluidos.
- Cubiertas impermeables de estructuras geológicas que cierran el sistema y no permiten que el calor del yacimiento se disipe rápidamente.

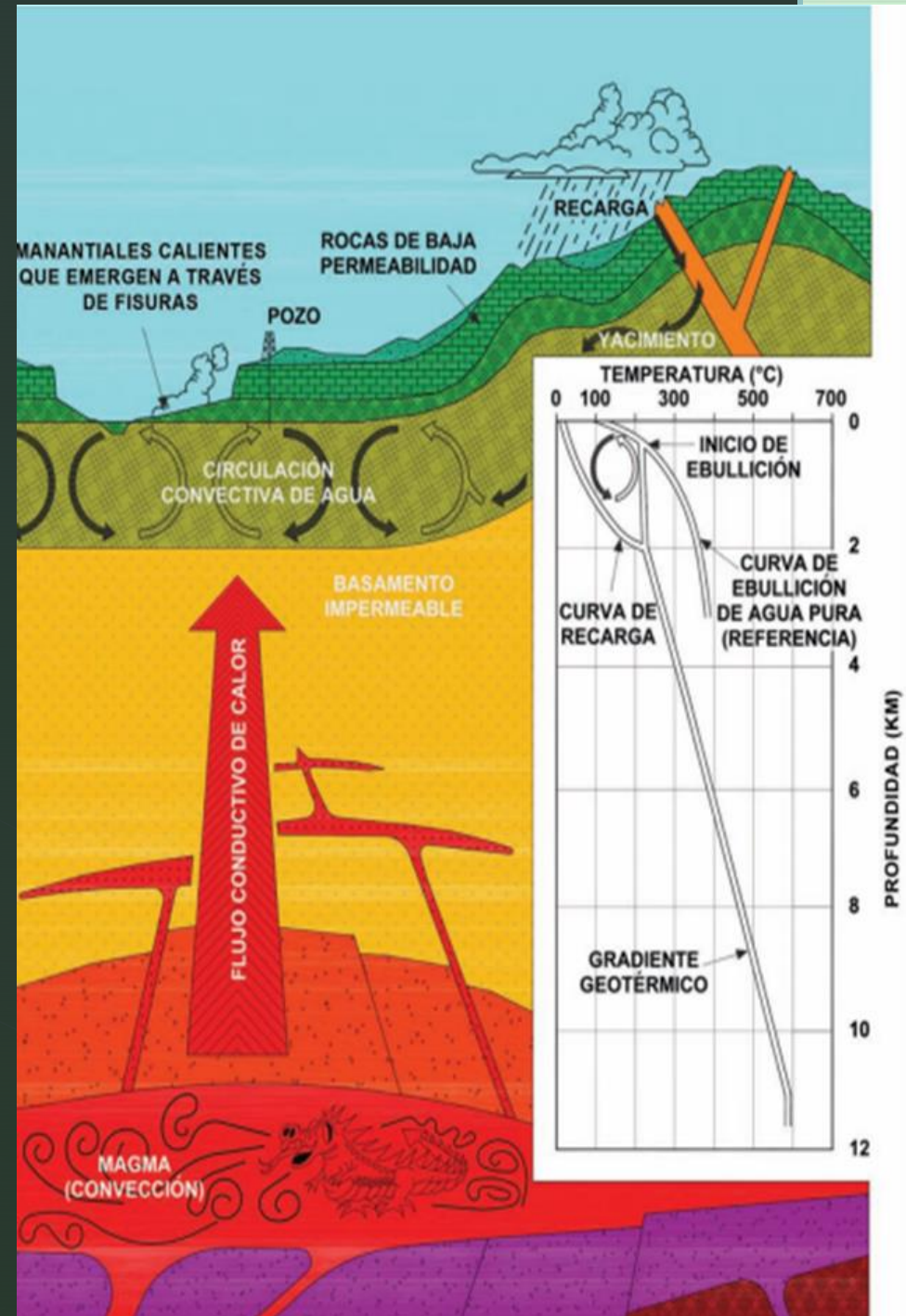


b) **Sistemas hidrotermales conductivos:**

Sistemas geotérmicos de roca seca caliente o “sistemas geotérmicos mejorados”: Consisten en roca seca a muy alta temperatura (alrededor de 650 grados centígrados)

Localizada entre 2 y 4 kilómetros de profundidad, y con la característica particular de no contar con fluidos suficientes en el fondo para transportar el calor hacia la superficie.

Su explotación requiere de la creación de una red de fracturas en la roca y la inyección de fluidos para su aprovechamiento. Por su inmenso potencial y su distribución



Otros Sistemas Geotérmicos

c) Sistemas geotérmicos geo presurizados:

Con - tienen agua y metano disuelto a alta presión (unos 700 bar, unidad de presión) y mediana temperatura (entre 90 y 200 grados centígrados).

d) Sistemas geotérmicos marinos:

Se localizan en el fondo del mar, y se manifiestan como descargas, fumarolas o chimeneas hidrotermales.

e) Sistemas geotérmicos magmáticos:

Consis - ten de roca fundida (a unos 800 grados cen - tígrados) y están asociados con aparatos vol - cánicos activos. Para extraer el calor de estos sistemas se han desarrollado algunos proyectos piloto en Hawaii e Islandia, pero su explotación comercial requiere la búsqueda de materiales adecuados que resistan la corrosión y las altas temperaturas.



f) Sistemas geotérmicos supercríticos:

Se ubican a grandes profundidades (entre 5 y 6 kilómetros) y contienen fluidos en estado supercrítico (es decir: a presión y temperatura tal, que adopta un estado intermedio entre líquido y gas) con temperaturas de hasta 600 grados centígrados; se han detectado cerca de Islandia, donde actual mente se investiga la factibilidad de su explotación.

Tipos de sistemas geotérmicos

Tipo	Fluidos naturales	Subtipo	Temperatura	Uso	
				Actual	Potencial
Convectivo (Hidrotermal)	Sí	Continental	A, I, B	Eléctrico, usos directos	
		Submarino	A	Ninguno	Eléctrico
Conductivo	No	Somero (<400 m)	B	Directos (y GHP)	
		Roca seca caliente (EGS)	A, I	Prototipos	Eléctrico, directos
		Cuerpos de magma	A	Ninguno	Eléctrico, directos
Sistemas acuíferos profundos	Sí	Acuíferos hidrostáticos	A, I, B	Directos	Eléctrico, directos
		Geopresurizados			

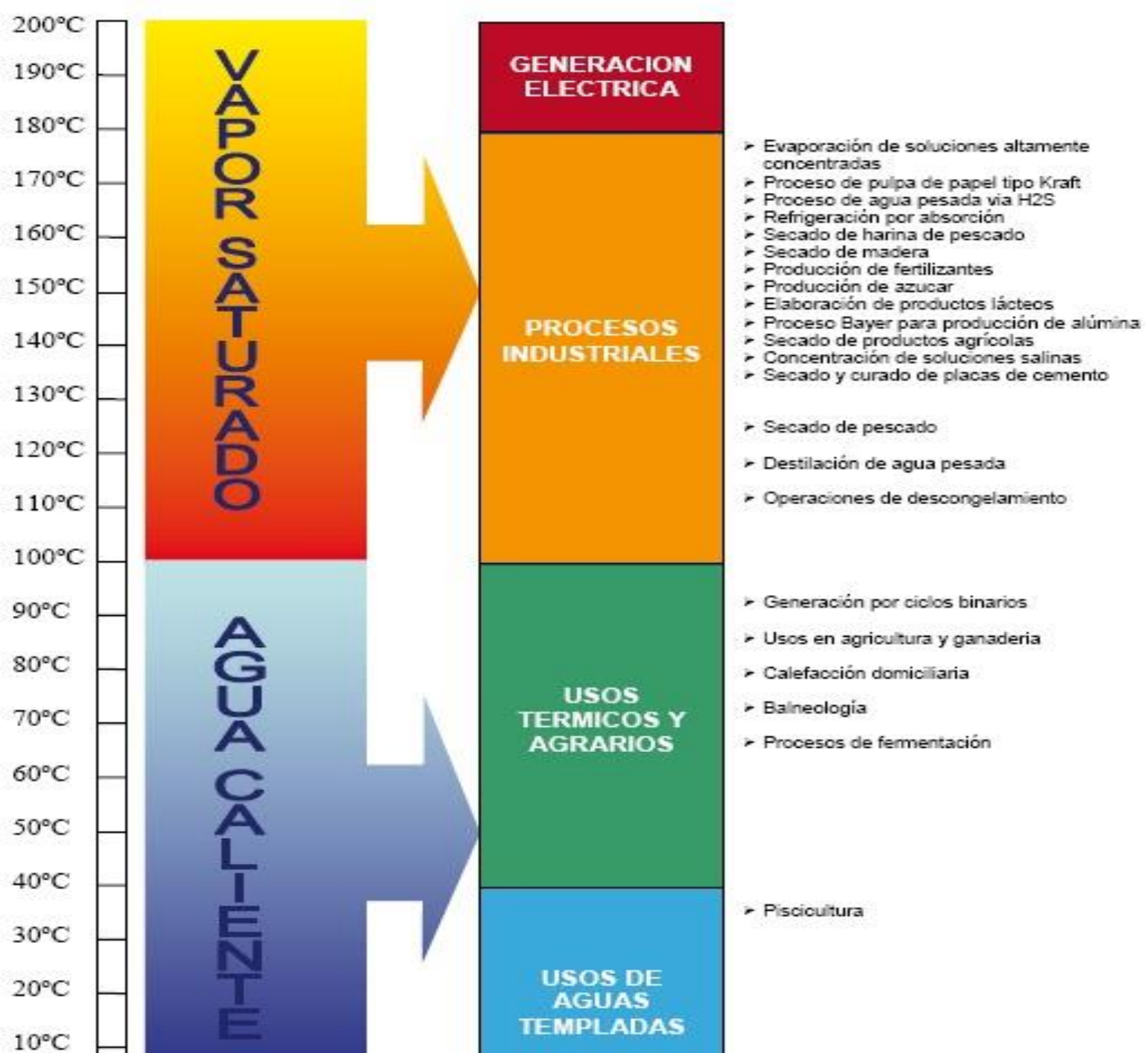
Notas:

Temperatura: **A** (alta): >180°C, **I** (intermedia): 180-100°C, **B**: Baja: <100°C.

EGS: Sistemas geotérmicos mejorados (*Enhanced or Engineered Geothermal Systems*).

GHP: Bombas de calor geotérmico (*Geothermal Heat Pumps*).

GEOTERMIA Y SUS APLICACIONES EN USOS DIRECTOS



LOS USOS DEL RECURSO GEOTERMICO ESTAN ASOCIADOS AL TIPO DE RECURSO

Usos del Recurso Geotérmico

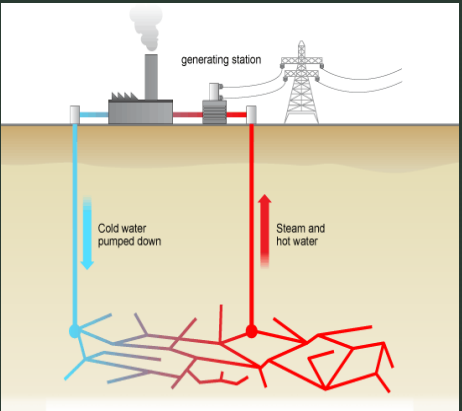
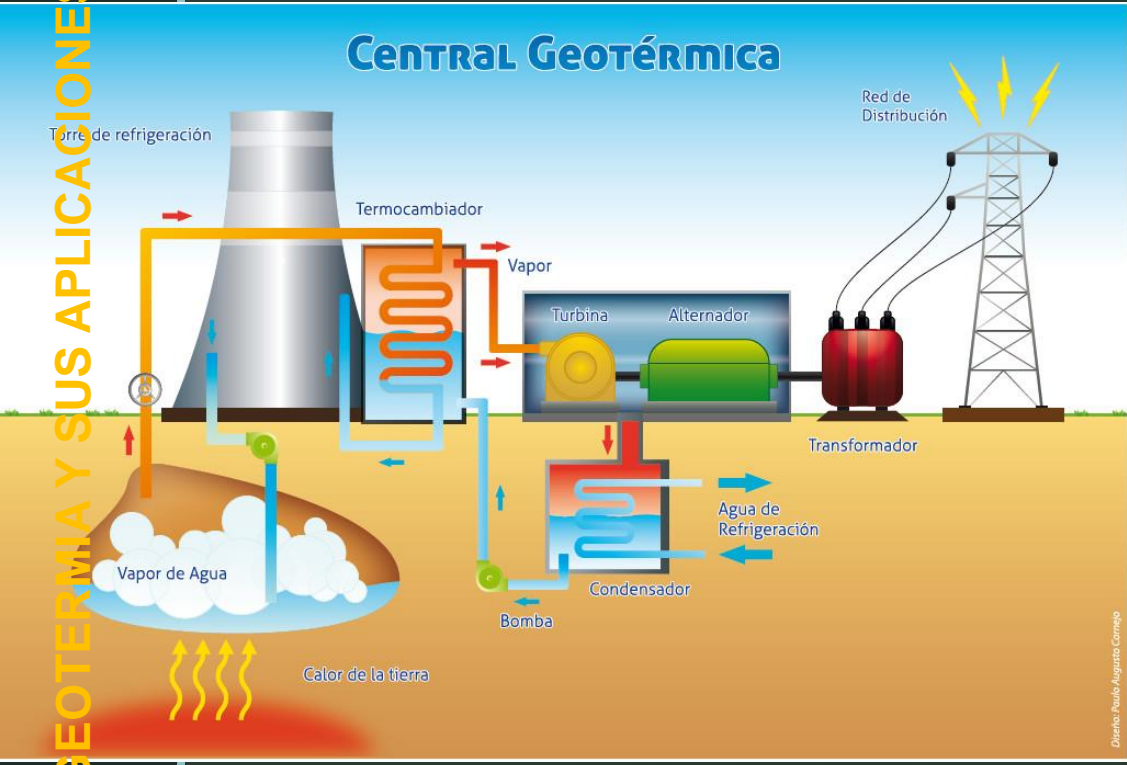
Recursos Geotérmicos		Rango de Temperaturas en Terreno	Tecnología
Muy Baja Entalpía		$5^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$	Bomba de Calor
CONVENCIONALES	Baja Entalpía	$25^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$	Puede Precisar Bomba de Calor
		$50^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$	District Heating. Usos Directos
	Media Entalpía	$100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$	Generación Eléctrica Ciclos Binarios
	Alta Entalpía	$T > 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad
NO CONVENCIONALES	EGS - HDR	$T > 150^{\circ}\text{C}$	Generación Eléctrica Ciclos Binarios
	Supercríticos	$T > 300^{\circ}\text{C}$	Electricidad Hidrógeno



Clasificación por Entalpía			
<u>Tipo Yacimiento</u>	<u>Tipo de Terreno</u>	<u>Rango de Temperatura</u>	<u>Uso Principal</u>
Muy Baja Entalpía	Subsuelo con o sin agua	$5^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$	Climatización
	Aguas Subterráneas	$10^{\circ}\text{C} < T < 22^{\circ}\text{C}$	
Baja Entalpía	Aguas Termales	$22^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$	Balnearios
	Zonas Volcánicas	$T < 100^{\circ}\text{C}$	Calor de Distrito
	Sedimentos Profundos		
Media Entalpía		$100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad, Ciclos Binarios
Alta Entalpía		$T > 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad

Generación geotermoeléctrica

Se explotan generalmente sólo los sistemas hidrotermales convectivos, con temperaturas entre 200 y 350 grados centígrados y profundidades de alrededor de 3 kilómetros, comercialmente para generar electricidad.



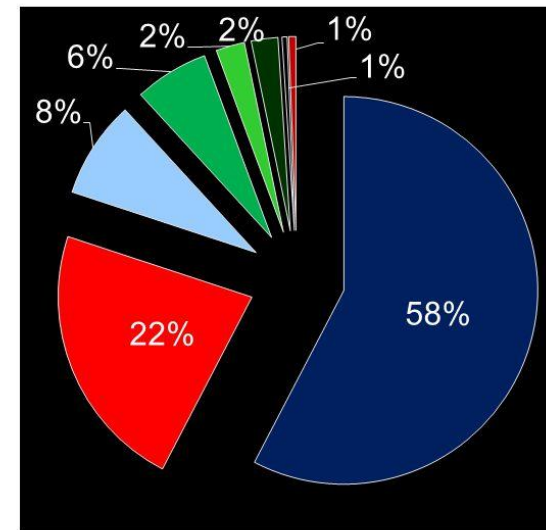
Diseño: Pablo Augusto Cornejo

Usos directos de la energía geotérmica

Usado en acondicionamiento térmico de espacios y viviendas, balneología (balnearios), aplicaciones térmicas para procesos industriales y calentamiento de invernaderos y estanques. Entre estas aplicaciones destacan el acondicionamiento térmico de espacios (viviendas, edificios o distritos) a través del uso de bombas de calor geotérmicas, las cuales aprovechan el gradiente de temperatura del suelo a profundidades entre 2 y 100 metros, como fuente o sumidero de calor.

Mercado de usos directos de la geotermia en el mundo en 2010

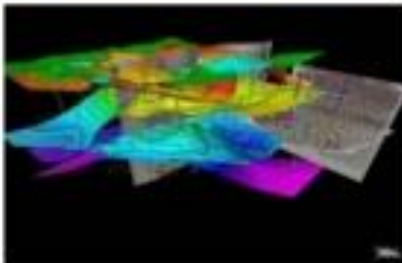
Aplicación	MWt
Bombas de calor	33,760
Calefacción	13,130
Balnearios	4,760
Invernaderos	3,620
Acuicultura	1,400
Usos industriales	1,300
Usos agrícolas	250
Otros	350
Total	58,580



Etapas de un proyecto Geotérmico



PRIMERA ETAPA



Exploración de superficie

- Estudios geológicos, geo-químicos y geofísicos
- Modelo de interpretación del Recurso
- Estimación potencial del recurso y ubicación pozos exploratorios.

Explotación del Recurso Geotérmico

Impacto ambiental de los proyectos geotermoeléctricos

Las principales emisiones de las plantas consisten en vapor de agua, con un contenido mínimo de gases. Las pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO₂) que se liberan son comparables con las que se emitirían a la atmósfera por descargas naturales (fumarolas o géiseres)


Los principales obstáculos que enfrenta la explotación de la energía geotérmica se atribuyen a problemas en:

1) las fases de exploración y desarrollo de nuevos proyectos geotérmicos, las cuales implican riesgos relativamente altos por incertidumbre y fuertes inversiones para lograr la localización correcta de sitios de interés y la perforación de pozos direccionales para encontrar la zona de producción que asegure el proyecto comercial; y 2) en la fase de explotación, debido a problemas relacionados con la eficiencia de sistemas, la corrosión e incrustación de pozos e instalaciones, y la disposición de fluidos residuales.

La energía geotérmica es una de las energías renovables con mayor madurez tecnológica y sustentabilidad energética.

Larderello, en Italia (alrededor de 100 años); Los Géiseres, en Estados Unidos (unos 78 años) y Cerro Prieto, en México (unos 35 años).

RETOS

- 
- 1) promover la aplicación de la energía geotérmica de baja y mediana temperatura para apoyar programas de ahorro y uso eficiente de energía en sitios donde se encuentre disponible;
 - 2) lograr que el gobierno reconozca que la energía geotérmica es una alternativa más para satisfacer la futura demanda de energía;
 - 3) impulsar la investigación para mejorar la tecnología actual, especialmente en la perforación de pozos profundos direccionales y el diseño de nuevas plantas de generación/co-generación;
 - 4) preparar recursos humanos altamente especializados para enfrentar los nuevos retos científicos y tecnológicos de los sistemas geotérmicos de nueva generación; y
 - 5) educar a la población sobre los beneficios directos de la energía geotérmica, entre otras.

Gracias por su
Atención