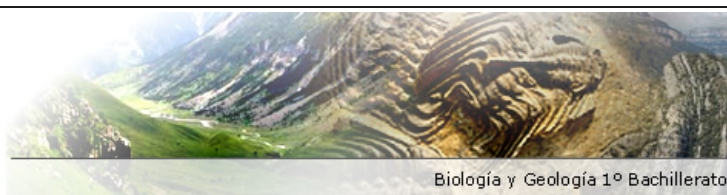


[Imagen](#) de fondo bajo licencia de Creative Commons, autor: [Mats Halldin](#).

1. Método sísmico

Investigación

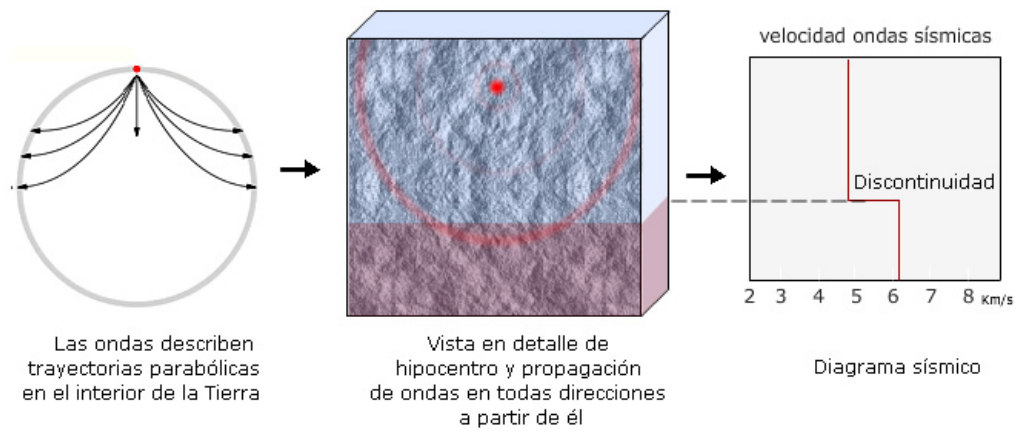
Geología



Biología y Geología 1º Bachillerato

El método sísmico consiste en el análisis de ondas sísmicas, provocadas por terremotos o explosiones. El movimiento vibratorio originado por la sacudida sísmica se resuelve en forma de trenes de ondas concéntricas que, partiendo del hipocentro o foco sísmico, se propagan en todas direcciones. La velocidad de transmisión de estas ondas es constante para un mismo medio, pero varía en función de la rigidez (entre otros factores) del medio atravesado.

De tal manera que, cuando las ondas se encuentran en su trayectoria un material diferente, cambian su velocidad. Este cambio de velocidad se conoce como discontinuidad y su presencia marca el tránsito de una capa a otra.



Cuando una onda cambia de medio se refracta, es decir, sufre una desviación en su dirección. Dado que con la profundidad, al aumentar la presión, cambian las propiedades del medio, las ondas sufren desviaciones infinitesimales que se traducen en trayectorias parabólicas (no rectilíneas). De igual forma, el valor de velocidad puede ir aumentando de forma gradual.

1.1. Ondas sísmicas



Investigación

Geología



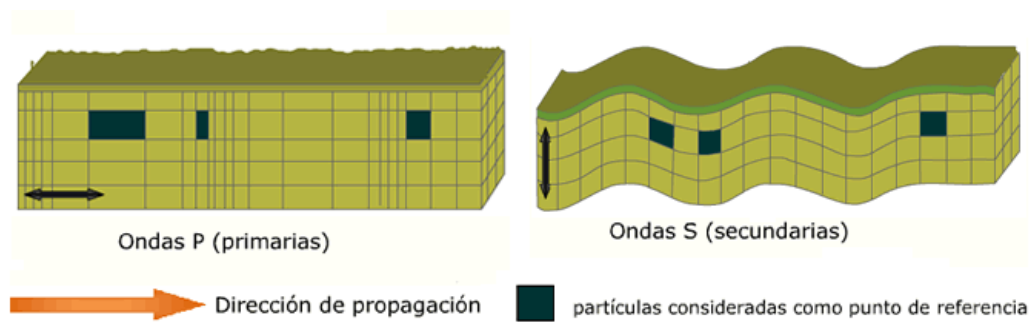
Biología y Geología 1º Bachillerato

[Animaciones](#) vibración ondas P y S bajo licencia de Creative Commons, autor: [Christophe Dang Ngoc Chan](#)

El método sísmico se basa en el análisis de las ondas sísmicas internas, éstas son de dos tipos: ondas longitudinales u **ondas P** y ondas transversales u **ondas S**.

Se trata de ondas que hacen vibrar las partículas a su paso. El modo en que ocurre es diferente para cada tipo de onda: las P

hacen vibrar las partículas de las rocas en la misma dirección de la propagación de la onda, las S de forma perpendicular.



Como hemos visto, su velocidad de propagación depende de las características del medio. Su fórmula se expresa de la siguiente forma:

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

K es el módulo de incompresibilidad, μ es la rigidez y ρ la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica

Analizando sus fórmulas podemos averiguar distintas características de cada onda:

- Las ondas P son más rápida que la S. Si observas el numerador, el término $(K + \frac{4}{3}\mu)$ siempre será mayor a (μ) , por tanto, la velocidad de las ondas P siempre será más alta que las S.
- Los líquidos tienen rigidez nula ($\mu=0$), no así su incompresibilidad ($K>0$) (capacidad para no comprimirse). Por tanto, en medios líquidos, las ondas S no se propagan (velocidad=0) y las ondas P sí ($v>0$).

1.2. Diagramas sísmicos



Investigación

Geología

Biología y Geología 1º Bachillerato

Las siguientes imágenes de la animación están bajo licencia de Creative Commons (Wikipedia Commons): [Sistema solar](#), autores: Harman Smith and Laura Generosa (NASA); [Tierra](#) (NASA)

El análisis de las ondas sísmicas recibidas en la red mundial de observatorios (mediante sismógrafos) suministra información acerca de la velocidad de las ondas en profundidad, y según lo expuesto, de las propiedades de los materiales existentes en el interior (densidad, módulo de rigidez, y módulo de compresibilidad). En realidad, las ondas sísmicas proporcionan una especie de

radiografía interna de la Tierra.

Jeffreys (1939) y Gutenberg (1959) a partir del estudio de la velocidad de las ondas P y S en función de la profundidad propusieron tres discontinuidades netas en el interior de la Tierra.

La primera de estas discontinuidades se denomina **Mohorovicic (1)**, separa la corteza del manto, y su profundidad varía respecto de la superficie, según las zonas, entre 5 y 60 Km, al pasar por ella la velocidad de las ondas P y S aumentan bruscamente su velocidad.

A medida que las ondas van profundizándose en el manto van aumentando su velocidad. A los 1000 km existe una disminución en el incremento de la velocidad lo que permite diferenciar manto superior de inferior (discontinuidad de **Repetti (2)**).

La segunda discontinuidad importante es la que separa al manto del núcleo, se denomina **Gutenberg (3)** y se encuentra a una profundidad de 2900 Km. Se caracteriza por el brusco descenso en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas P (pasan de 14 a 8 Km/seg) y por la desaparición de las ondas S.

Una tercera discontinuidad, menos destacada, aparece a una profundidad de 5000 Km. Es la discontinuidad de **Lehmann (4)**, también denominada de Wiechert, que separa dos regiones de diferente comportamiento físico: Un núcleo externo, fluido, que no permite el paso de las ondas S, y un núcleo interno, más rígido, en el que aumenta de nuevo la velocidad de las ondas P hasta valores superiores a los 11 Km/seg.

Otras discontinuidades de menor importancia se localizan:

- A unos 15 Km por debajo de los continentes (discontinuidad de **Conrad**).
- Otra discontinuidad "menor", pero de sumo interés, es la **capa de baja velocidad**. Corresponde con una zona comprendida entre 100 y 250 km de profundidad en la que se origina un descenso en la velocidad de las ondas P y S. Se cree que se encuentra parcialmente fundida, hecho que provoca el descenso de velocidad.

2. Modelos geoquímico y geodinámico



En la actualidad, y gracias a la información aportada por los distintos métodos geofísicos, especialmente el método sísmico, se diferencian dos modelos acerca de la estructura y composición de la Tierra.

Modelo Geoquímico: (Bullen, 1.963) Que divide a la Tierra en capas concéntricas basándose en su composición: corteza, manto (superior e inferior) y núcleo (externo e interno).

Modelo Dinámico: este modelo se ha tenido en cuenta el estado físico y la dinámica de las capas.

* En la zona más superficial existe una capa de comportamiento rígido de un espesor de 100 Km, llamada **litosfera**, la cual incluye a la corteza y una región llamada manto litosférico que forma parte del manto superior.

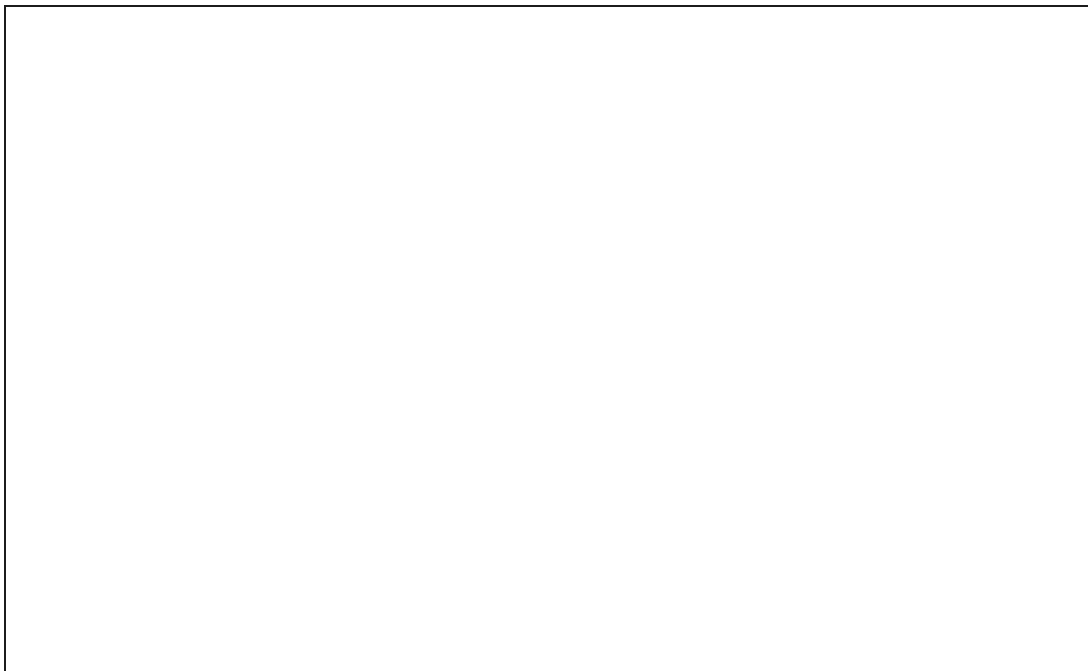
* Entre 100 y 250 Km se halla una zona de comportamiento plástico, que corresponde con el canal de baja velocidad. Esta zona se considera que está formada por materiales parcialmente fundidos. Recibe el nombre de **astenosfera**, y en ella se originan corrientes de convección que determinan la dinámica de la litosfera.

Los últimos estudios ponen en duda la existencia de la astenosfera, puesto que la zona de baja velocidad del manto superior no es universal y, al parecer, las zonas donde se encuentra un manto más plástico, serían debidas a restos de antiguas plumas.

* A partir de 250 Km y hasta 2.700 Km se sitúa la **mesosfera**, con una dinámica de corrientes de convección, penachos o plumas térmicas.

* Por último, la **endosfera** coincidiendo con el núcleo del modelo geoquímico.

3. Composición y características de cada capa



[Imagen](#) de fondo bajo licencia de Creative Commons, autor: [Mats Halldin](#)



3.1. Corteza terrestre

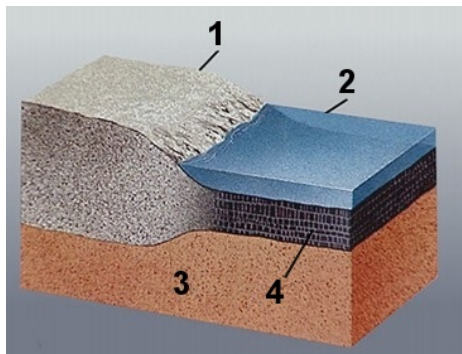
La corteza terrestre es la capa más superficial y menos densa de la Tierra, con una densidad media de $2,7 \text{ g/cm}^3$. Constituye el 1% de la masa terrestre y está separada del manto por la discontinuidad de Mohorovicic. Su espesor no es uniforme, varía de unos 35 a 60 Km bajo los continentes a unos 10 Km debajo de los fondos oceánicos.

La corteza es la parte más heterogénea de la Tierra, especialmente sus zonas continentales, y está sometida a continuos cambios provocados por la acción de fuerzas endógenas o constructoras del relieve y exógenas o destructoras.

Desde el punto de vista composicional y genético se presentan dos variedades bien definidas: corteza oceánica y corteza continental.

- La **corteza continental** es menos densa y más gruesa que la corteza oceánica. Se encuentra en las tierras emergidas y plataformas continentales. Muestra edades mucho más antiguas que la corteza oceánica, pudiendo encontrarse rocas que se formaron hace 4000 millones de años. La corteza continental, a diferencia de la oceánica, no ofrece ninguna estructura definida. Su origen está en sucesivos procesos de colisión continental.

- La **corteza oceánica** es más densa y más delgada que la corteza continental, y muestra edades que, en ningún caso, superan los 180 millones de años. Se encuentra en su mayor parte bajo los océanos y manifiesta un origen volcánico. Se forma continuamente en las dorsales oceánicas y, más tarde, es recubierta por sedimentos marinos.



- 1.- Corteza continental
- 2.- Océano
- 3.- Manto superior
- 4.- Corteza oceánica

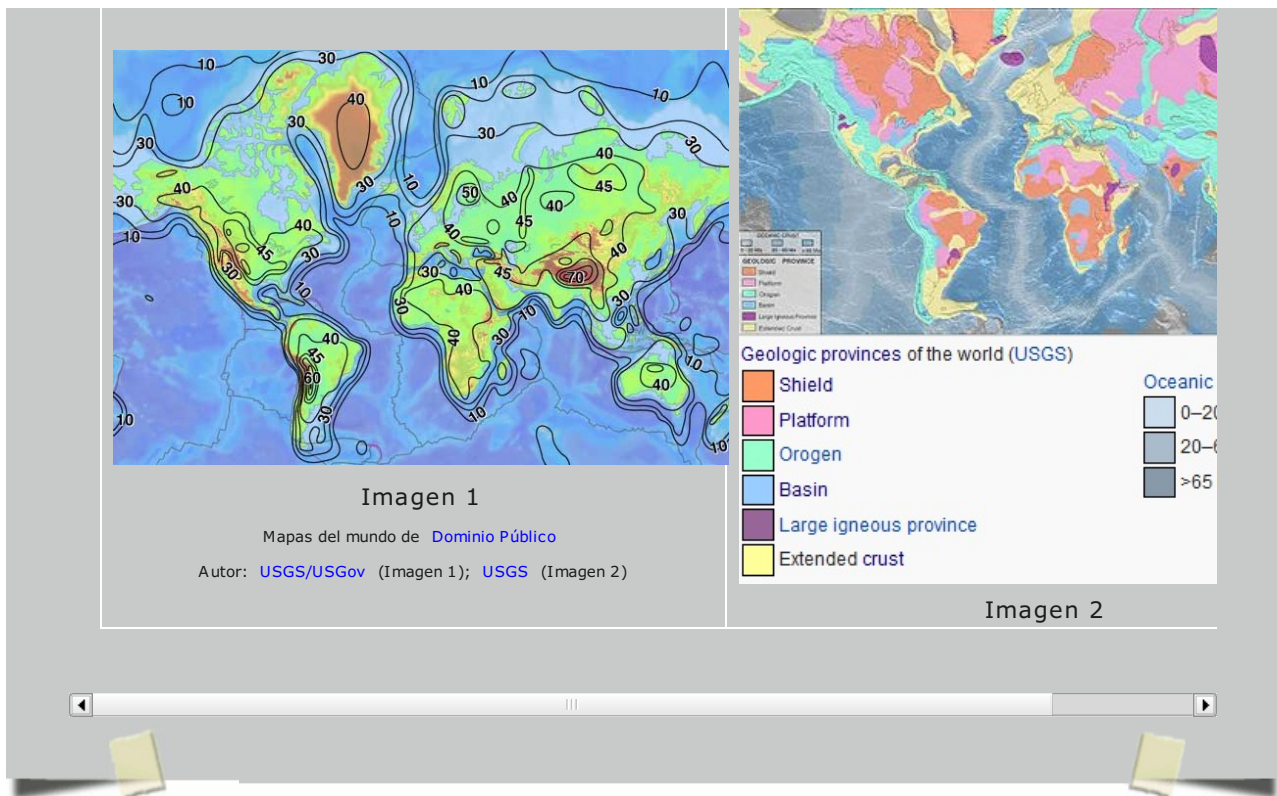
Imagen en Wikimedia Commons de [Michel d'Auge](#) de [Dominio Público](#)

Para saber más

Observa los mapas que te mostramos y saca tus propias conclusiones analizando el espesor de la corteza y su antigüedad en la imagen 1, y los tipos de áreas terrestres (continentales y oceánicas) en la imagen 2.

Te aconsejamos que analices en detalle las áreas orogénicas (cordilleras) tales como los Andes o el Himalaya. Ten en cuenta que la altura máxima de estos orógenos no sobrepasa los 9 km.

Observa también con detenimiento las edades (expresadas en millones de años) de la corteza oceánica.



3.1.1. Corteza continental



Como hemos visto, la corteza continental tiene mayor espesor, complejidad y antigüedad que la corteza oceánica. En ella se incluye también las plataformas continentales y talud continental (zonas que se encuentran por debajo del nivel del mar).

Se pueden distinguir tres capas en la vertical:

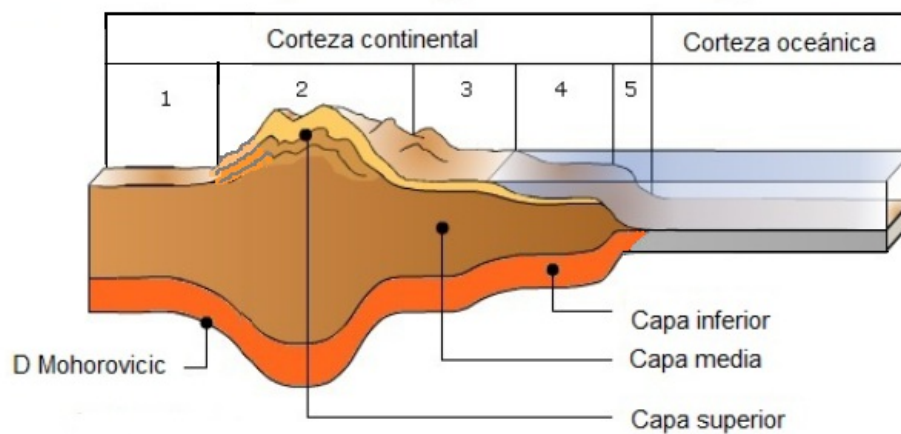
Capa superior, formada por sedimentos y rocas poco metamorfizadas. Se encuentra más o menos plegada y puede faltar, pero en algunos lugares supera los 3 Km. de espesor.

Capa media, compuesta por rocas de metamorfismo medio (Micasquistos y Gneises), y rocas plutónicas del tipo del granito. Posee un espesor medio del orden de 10 a 15 Km, siendo más gruesa bajo las montañas.

Capa inferior, formada por rocas de alto metamorfismo y rocas ígneas tipo gabro. Es la más profunda, con un espesor de 10 a 20 Km.

Este modelo estructural presenta algunas modificaciones en áreas bien definidas de la superficie terrestre, diferenciando horizontalmente entre cratones y cordilleras orogénicas.

(1) Escudo (2) Orógeno (3) Plataforma (4) Plataforma continental (5) Corteza oceánica



Cratones. Áreas estables desde hace muchos millones de años, que no presentan relieves importantes. Comprenden los escudos y las plataformas.

- Los **escudos** ocupan la parte central de los continentes (interior del Canadá, Brasil, África, etc.). Se corresponden con antiguas cadenas montañosas que fueron rebajadas por la acción erosiva de los agentes externos. De ellas ha desaparecido la capa sedimentaria. Las rocas que aparecen en su superficie, no son las que formaron la parte externa de las montañas primitivas, sino otras de origen más profundo que, al haber soportado grandes presiones y temperaturas aparecen metamorfizadas.

- Las **plataformas** son zonas cratónicas que conservan una capa sedimentaria, a veces potente, que puede estar levemente plegada (Ejemplo: las de Rusia y el Sahara).

Cordilleras orogénicas. Situadas en los bordes de los cratones. Son zonas corticales que han estado más o menos recientemente sometidas a deformaciones tectónicas. Las más modernas están distribuidas en dos zonas, una por el borde del océano Pacífico (Montañas Rocosas, Andes, etc.) y otra extendida del Atlántico al Pacífico por el sur del continente euroasiático (Pirineos, Alpes, Atlas, Himalaya, etc.). Bajo las cordilleras, la corteza es muy espesa, pudiendo alcanzar los 70 Km, este hecho se debe al engrosamiento de la capa granítica que forma "raíces" en la capa basáltica.

Para saber más

En la Península Ibérica las rocas más antiguas constituyen el **escudo hespérico** que se localiza en la zona de Galicia y la zona occidental de las dos mesetas.



Fuente Javier López bajo licencia Creative Commons.

3.1.2. Corteza oceánica



Investigación

Geología



Biología y Geología 1º Bachillerato

Visita distintos relieves de la corteza oceánica y analiza sus características principales. Evalúa tus dotes de observador comprobando si tu descripción se ajusta a la que se desarrolla en los contenidos de esta página.

Imágenes bajo licencia de Creative Commons, [fumarola](#) , autor:P. Rona; Imágenes dominio público [Fosa](#) , autor: [Vsmith](#) ; [dorsal](#) , autor: NASA/GSFC/Robert Simmon;

Bien conocida gracias al desarrollo de la Oceanografía. Es más densa y más delgada que la corteza continental, y muestra edades que, en ningún caso, superan los 180 millones de años. Se encuentra en su mayor parte bajo los océanos y manifiesta un origen volcánico. Se forma continuamente en las dorsales oceánicas y, más tarde, es recubierta por sedimentos marinos. Presenta una estructura en capas.

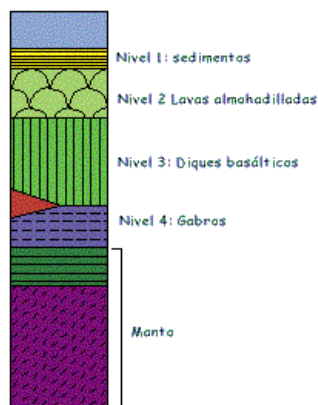


Imagen de [Proyecto Biosfera](#)

bajo licencia [Creative Commons](#)

Nivel 1: Capa de sedimentos. Presenta un espesor muy variable, siendo inexistente en las zonas de dorsal mientras que en las zonas que bordean a los continentes llega a alcanzar espesores de hasta 10 km.

Nivel 2: Lavas almohadilladas. Formadas por basaltos submarinos emitidos en las zonas de dorsal que, al sufrir un rápido enfriamiento, ofrecen superficies lisas y semiesféricas.

Nivel 3: Diques Basálticos. Son de composición similar a las lavas almohadilladas y están solidificados en forma de diques verticales.

Nivel 4: Gabros. Representa material solidificado en la cámara magmática existente bajo la zona de dorsal. Este material solidificado alimentó los dos niveles anteriores.

En la corteza oceánica podemos distinguir distintos tipos de zonas geológicas, cada una definida por un relieve característico.

Fondos oceánicos o abisales : por lo general a profundidades superiores a 4.000 m, topografía más o menos llanas en las que aparecen elevaciones de diferente tipo: mesetas, guyots, volcanes, islas, etc. Constituyen la mayor parte de los fondos marinos. Comprende, una capa sedimentaria (más o menos fina) y un zócalo de composición basáltica. Posee aproximadamente 7 km de espesor.

Corteza de las dorsales oceánicas : Las dorsales son cordilleras submarinas de miles de kilómetros de longitud que poseen un eje o valle central llamado Rift. Existen 3 dorsales principales, la dorsal Atlántica, la Indica y la Pacífica. En ellas falta la capa sedimentaria. Son las zonas de la superficie donde la discontinuidad de Mohorovicic se encuentra más elevada (la corteza es más delgada)

Fosas oceánicas : depresiones estrechas y profundas del fondo oceánico que pueden llegar a alcanzar los 11 Km y están próximas a los bordes continentales o arcos islas.

Curiosidad

La fosa de las Marianas se localiza en el fondo del Pacífico noroccidental, cerca de las islas Marianas. Corresponde con el lugar más profundo de la corteza terrestre.

Corresponde con una fosa alargada de más e 2550 km y 70 km de ancho. En su punto más profundo alcanza los 11 km de profundidad (Abismo de Challenger) .

Utiliza el vídeo inferior para realizar un recorrido virtual por la fosa.



3.2. Manto



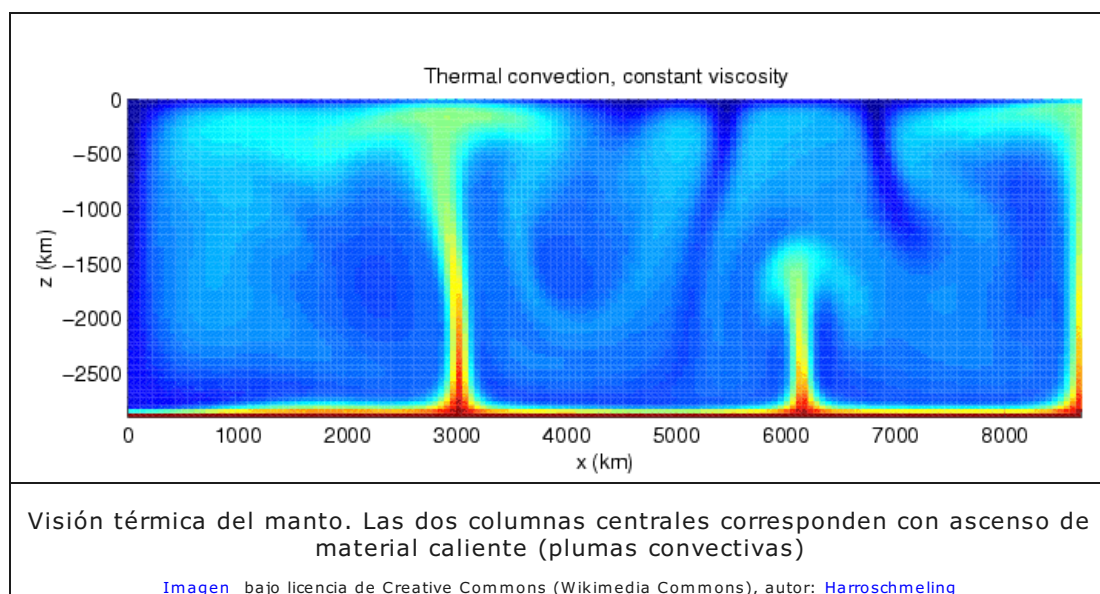
Capa intermedia entre el núcleo y la corteza. Se extiende desde la discontinuidad de Gutenberg hasta la de Mohorovicic, que la separa de la corteza. Representa el 83% del volumen del globo y el 65% de su masa aproximadamente. La densidad de los materiales del manto oscila entre 3.3 gr/cm³ en sus zonas más superficiales, hasta 5.6 en las más profundas. La discontinuidad de Repetti (1000 km) lo divide en dos partes, Manto superior e inferior.

En la actualidad se admite una naturaleza peridotítica para el manto. La discontinuidad de Mohorovicic representaría por tanto un cambio composicional del tipo básico-ultrabásico (basalto-peridotita).

Posiblemente las variaciones en la velocidad, que las ondas sísmicas sufren, al atravesar el manto se deban a variaciones físicas más que químicas: el empaquetamiento de los átomos debe hacerse más estrecho al aumentar la presión. Cada cambio estructural aumenta la rigidez de la roca, y con ella la velocidad de las ondas sísmicas.

La zona de transición o "canal de baja velocidad" que separa manto superior de inferior, se interpreta como una zona parcialmente fundida (del 1 a 3%) en donde las ondas disminuyen su velocidad.

En la parte basal del manto inferior, justo por encima del límite manto-núcleo, parece existir una zona de 200 a 400 km de espesor, denominada nivel "D", muy activa, donde se forman plumas convectivas que dan origen a los puntos calientes. Además, parece intervenir en el ligero balanceo del eje de rotación terrestre y del campo geomagnético.



3.3. Núcleo



Es la capa más interna, extendiéndose desde la discontinuidad de Gutenberg hasta el centro de la Tierra. Representa aproximadamente el 14% del volumen de la Tierra y el 31-32% de su masa.

Con respecto a las condiciones termodinámicas se cree que existen presiones de varios centenares de miles de atmósferas y temperaturas como máximo de 4000 a 5000 °C.

Suele considerarse al núcleo formado esencialmente de Hierro, interpretación acorde con los datos sismológicos, pero pueden evocarse otras dos series de pruebas para reforzar tal conclusión. La primera es que, para crear un campo magnético el núcleo ha de ser metálico. La segunda, que ningún otro elemento que presente las propiedades observadas en el núcleo abunda en el cosmos como para elegirlo candidato.

De la comparación entre la densidad de las aleaciones de hierro a alta presión y la densidad supuesta para el núcleo (10 gr/cm³ en sus zonas mas externas y 13 en la más interna), se deduce la presencia de una pequeña proporción de componentes menos densos que el hierro: Azufre, oxígeno o silicio. A este respecto es significativo que se encuentren sulfuros en ciertos meteoritos.

Resumiendo, se sigue aceptando que en su mayor parte el núcleo está compuesto de hierro y/o níquel, pero un 8 o 10% está formado por componentes más ligeros como los ya apuntados.

Para saber más

Un nuevo estudio afirma que cambios rápidos en el movimiento del líquido del núcleo externo de la Tierra están debilitando el campo magnético en algunas zonas de la superficie del planeta. En el [siguiente enlace](#) puedes leer un artículo de National Geographic en el que se describe.

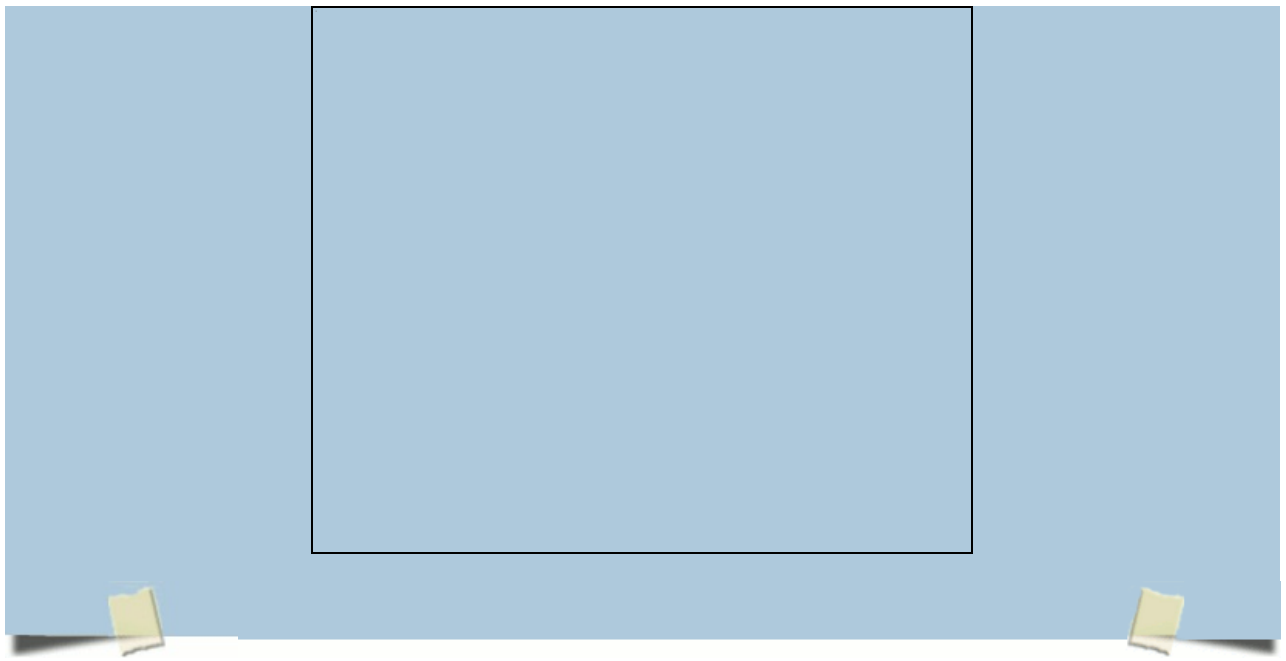
Curiosidad

En este fragmento de película se explica brevemente la estructura de la Tierra y en especial del Núcleo y lo que ocurriría si las corrientes del mismo se detienen... evidentemente, se trata de una película de Ciencia Ficción, no creas que está ocurriendo de verdad.



Curiosidad

Los protagonistas de la película anterior intentan dar solución a su problema abriendo un túnel que llegue al centro de la Tierra..., pero.. ¿sería posible? La respuesta la tiene el programa Tres14, que analiza en su sección de cine y ciencia la película 'El núcleo'.



Evaluación final

