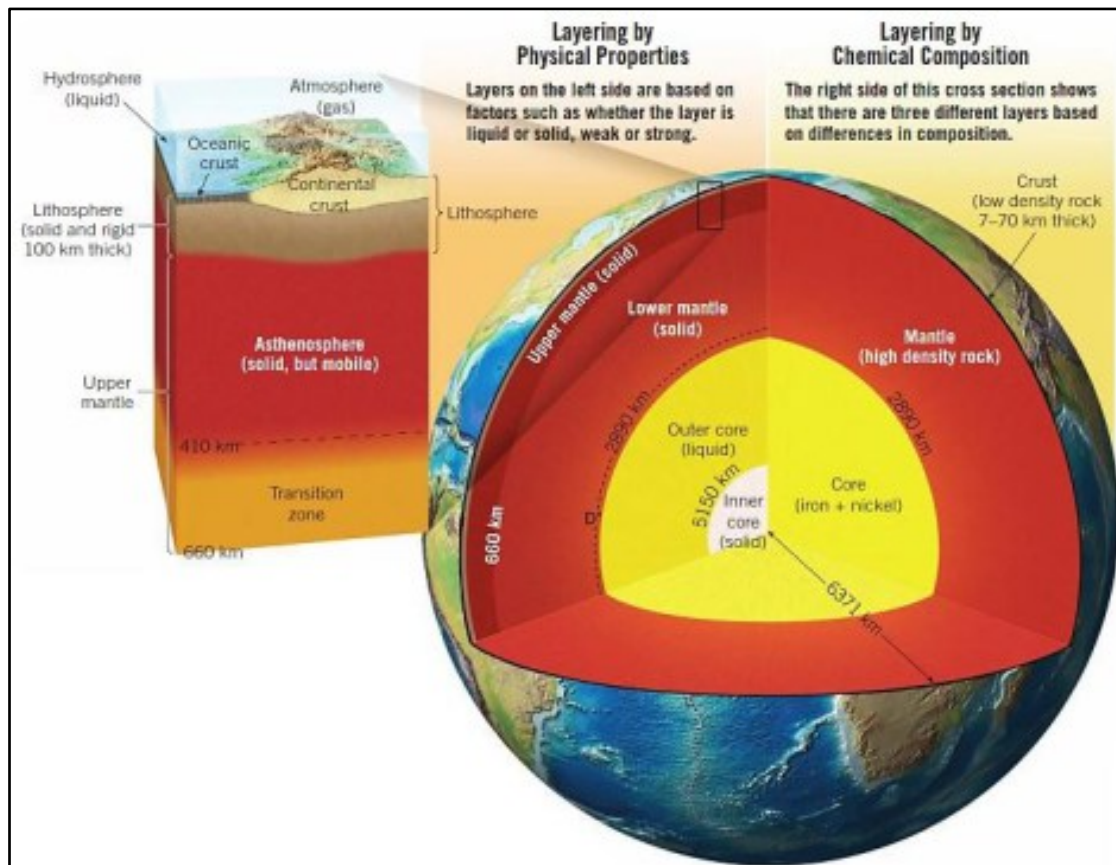


# Estructura Interna de la Tierra

<http://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/geologia/estructura-interna-de-la-tierra/>

Cuernavaca

Desde que se iniciaron los estudios acerca del interior de la Tierra se han propuesto numerosos modelos para explicar la estructura interna de la misma. Todos ellos se basan esencialmente en una estructura concéntrica constituida por 3 capas principales, la **corteza terrestre o capa más externa**, el **manto o capa intermedia** y en **núcleo interno**. En todos los modelos propuestos el elemento común es el núcleo terrestre, que la mayor parte de los autores consideran constituido por una aleación de hierro y níquel. En cuanto a la constitución del manto de la corteza terrestre existen notables diferencias entre los modelos que han sido propuestos.

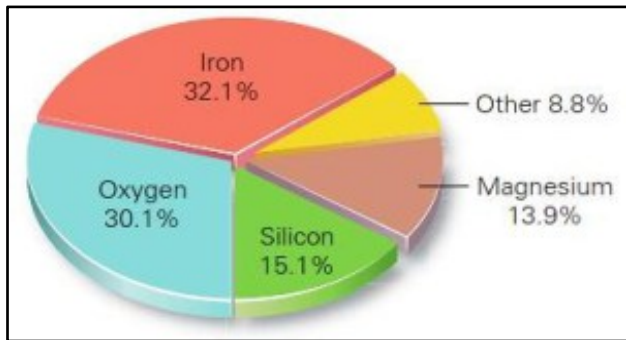


Esquema que muestra las capas de la Tierra de acuerdo a los 2 modelos existentes. Imagen tomada de Edward J. Tarbuk et. al., Earth: An Introduction to Physical Geology, 2014.

Cabe destacar, que en la actualidad se encuentran aceptados **2 modelos principales**: el primero de ellos se basa en la **composición química de las capas**, mientras que el segundo se construye en base a las **propiedades mecánicas** de las mismas.

Zona	Profundidad	Estado de la roca	Composición/tipo de roca
Corteza	0-35 km	Sólido	Granito, Diorita, Basalto
Manto Superior	35-650 km	Sólido	Peridotita
Manto Inferior	984-2898 km	Sólido	Perovskita
Núcleo Externo	2898-5154 km	Líquido	Hierro y níquel
Núcleo Interno	5154-6371	Sólido	Hierro y níquel
<b>Otras capas importantes</b>			
Litósfera	0-100 km	Sólido	
Astenósfera	100-250 km	Plástico	Materiales ultrabásicos y básicos

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA TIERRA



Proporciones de los elementos mayores que componen la Tierra. Imagen tomada de Stephen Marshak. Essentials of Geology, 2013.

La Tierra consiste mayormente de elementos producidos por reacciones de fusión llevadas a cabo en el interior de las estrellas y en explosiones de supernovas. Únicamente cuatro elementos (hierro, oxígeno, silicio y magnesio) componen el 91.2% de la masa total de la Tierra; el 8.8% restante consiste en otros 88 elementos. Los elementos de la Tierra involucran una gran variedad de materiales. A saber:

- **Productos químicos orgánicos:** Son compuestos que contienen carbono que o bien se encuentran en los organismos vivos o tienen características que se asemejan a los compuestos en los organismos.
- **Minerales.** Una sustancia sólida y natural en la que los átomos están dispuestos en un patrón ordenado. Una sola muestra coherente de un mineral que cuanta con un arreglo geométrico y caras planas es un cristal, mientras que una muestra de forma irregular, o un fragmento derivado de un cristal más grande o grupo de cristales, es un grano.
- **Vidrios:** Son sólidos en los que los átomos no están dispuestos en un patrón ordenado.
- **Rocas:** Son agregados de cristales minerales o granos, o masas de vidrio natural. Los geólogos reconocen tres grandes grupos de rocas. (1) Las **rocas ígneas** se desarrollan cuando el fundido (líquido conocido como magma) de roca caliente se enfría y se congela. (2) Las **rocas sedimentarias** que se forman a partir de granos que se originan por la disgregación de rocas preexistentes y se cementan mediante el proceso de diagénesis, o de minerales que precipitan de una solución de agua. (3) Las **rocas metamórficas** se forman cuando las rocas preexistentes cambian en respuesta a calor y presión.
- **Sedimentos.** Es una acumulación de granos minerales sueltos (granos que no han sufrido cementación).
- **Metales.** Son sólidos compuestos de un solo tipo de átomos de metal (tales como hierro, aluminio, cobre y estaño). Una **aleación** es una mezcla que contiene más de un tipo de átomos de metal.
- **Fundidos:** Se forma una masa fundida cuando los materiales sólidos se calientan y se transforman en líquido. La roca fundida es un tipo de geólogos en fusión distinguir entre el **magma**, que es roca fundida bajo la superficie de la Tierra, y la **lava**, roca fundida que ha fluído hacia fuera sobre la superficie de la Tierra.
- **Compuestos volátiles.** Materiales que se transforman fácilmente gas a temperaturas relativamente bajas en la superficie de la Tierra.

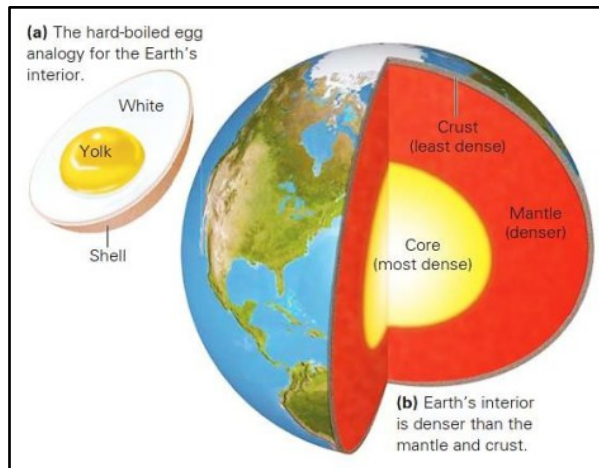
Los minerales más comunes en la Tierra contienen sílice (un compuesto de silicio y oxígeno) mezclado en proporciones variables con otros elementos; a estos minerales se les llama minerales silicatados. Por ello, las rocas compuestas por minerales silicatados se les denominan rocas silicatadas o siliciclásticas. Los geólogos distinguimos cuatro clases de rocas ígneas silicatadas basándonos, esencialmente en la proporción de silicio respecto al hierro y magnesio. En este orden de ideas, las 4 clases son: **félsicas** (o silícicas), **intermedias**, **máficas** y **ultramáficas**. A medida que la proporción de sílice en la roca se incrementa, su densidad (masa por unidad de volumen) disminuye. Así, las rocas félsicas son menos densas que las rocas máficas y ultramáficas. Muchos tipos diferentes de rocas están englobadas en cada clase.

Las más importante y comunes en el estudio de la estructura interna de la Tierra son el **granito** (roca félsica con minerales grandes –denominados fenocristales–), el **gabro** (una roca máfica con minerales grandes), el **basalto** (roca máfica con minerales pequeños) y la **peridotita** (una roca ultramáfica con minerales grandes)

# Modelo Composicional o geoquímico

## Corteza Terrestre

Es la capa **más superficial** de las que forman la Tierra, constituyendo únicamente el **1% de la masa** de la misma. Pese a su escasa importancia cuantitativa, sobre la corteza terrestre versan el 99% de los conocimientos directos existentes acerca de nuestro planeta. La corteza se originó probablemente en épocas avanzadas del período pregeológico de la Tierra, a partir de materiales del manto, de manera semejante a como se origina la escoria en una masa pétre fundida.



Analogía entre las capas de la Tierra y un huevo duro. Imagen tomada de Stephen Marshak. Essentials of Geology, 2013.

El límite inferior de la corteza terrestre lo constituye la **discontinuidad de Mohorovičić**. Su espesor no es uniforme, pues mientras en los **continentes** llega a los 35-40 km, de bajo de los **fondos oceánicos** raramente supera los 10 km de espesor.

La corteza terrestre, especialmente en sus zonas continentales, es la parte más heterogénea de la Tierra, y está sometida a cambios continuos provocados por la acción de fuerzas antagónicas, las **endógenas o constructoras del relieve** (orogénesis, vulcanismo, etc.) y las **exógenas o destructoras del relieve** (erosión).

Se pueden distinguir 3 capas que constituyen la corteza terrestre:

1. **Capa sedimentaria superficial:** discontinua, constituida por rocas sedimentarias, cuyo espesor puede llegar en ciertas zonas continentales a varios miles de metros, mientras que en los fondos oceánicos, raramente supera los 500-1000 m y en ciertas zonas de los mismos faltan por completo.
2. **Capa granítica intermedia (corteza continental):** constituida por rocas de composición semejante a la del granito (rocas ácidas, de alto contenido de  $\text{SiO}_2$  y bajo contenido de Fe y Mg). El espesor de esta capa es de 35-40 km bajo los continentes (salvo en las zonas de colisión, en las que puede rebasar los 50 km), faltando por completo en los fondos oceánicos. Antiguamente se le denominaba SIAL, debido a su composición predominante de **Silicio** y **Al**.
3. **Capa basáltica inferior (corteza oceánica):** constituida por materiales de composición muy semejante a la de los basaltos (rocas básicas, de bajo contenido en sílice pero alto contenido de Fe y Mg). En los fondos oceánicos la falta de la capa granítica intermedia determina que la corteza oceánica se encuentre directamente bajo la capa sedimentaria y en los puntos donde falta esta aflora directamente debajo de las aguas. En la terminología antigua, esta capa se denominaba SIMA, por su composición predominantemente de **Silicio** y **Magnesio**.

## Manto

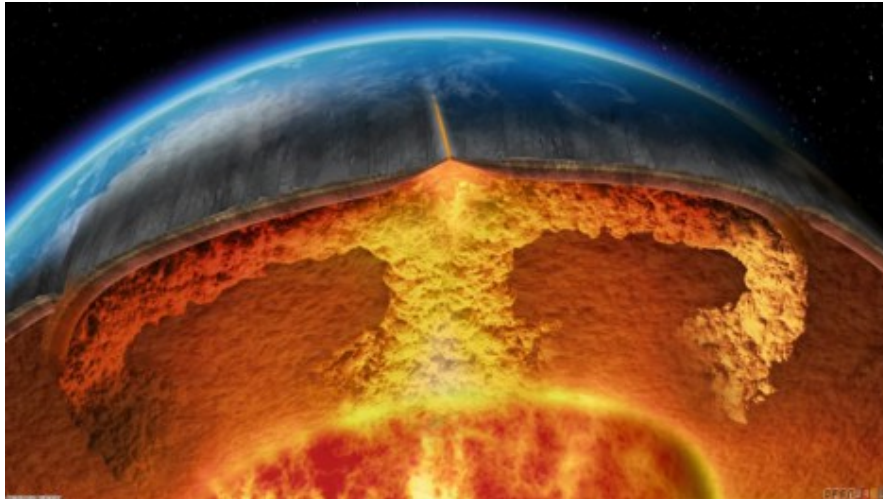
Es una capa intermedia dispuesta inmediatamente encima del núcleo y debajo de la corteza terrestre, que se extiende desde los 2898 km de profundidad (**discontinuidad de Gutenberg**, que la separa del núcleo) hasta la **discontinuidad de Mohorovičić**, que la separa de la corteza terrestre.

Por consiguiente, se **espesor** es de aproximadamente **2860 km**. El manto representa aproximadamente el **83% del volumen del globo terrestre** y el **65% de su masa**.

Sobre la composición de los materiales del manto se admite en general que está formado por rocas ultrabásicas (muy bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  y una gran cantidad de **Fe y Mg**) que contienen grandes cantidades de olivino y piroxenos.

Dentro del manto, se encuentra la denominada **zona de transición**, que se encuentra situada entre los **400 y los 660 km**.

El manto, especialmente en sus zonas más superficiales, presenta desde el punto de vista geológico gran importancia, pues con toda seguridad la corteza terrestre se formó por **diferenciación magmática** a partir de los materiales del manto superior. Por otra parte, numerosos e importante fenómenos geológicos que afectan a la corteza terrestre como la orogénesis, el vulcanismo, los fenómenos sísmicos, etc., tienen su origen en el manto superior.



En el manto se originan las fuerzas causantes de la deriva continental. Autor de la imagen desconocido.

La fuerza motriz que provoca los más importantes cambios en la corteza terrestre tiene su origen en el **manto subcortical** y se trata simplemente de las corrientes de convección existentes en el mismo. El primero en sostener la existencia de **corrientes de convección en el manto** fue Vening-Meinesz, en 1948, quien suponía que ciertas áreas locales o regionales del manto, y debido a las altas temperaturas existentes, las rocas se dilataban y ascendían hasta zonas subcorticales, extendiéndose lateralmente bajo la corteza terrestre, enfriándose y descendiendo. En esencia, el mecanismo sería el mismo que se puede observar en el líquido contenido en un vaso cuando es expuesto a un rápido calentamiento.

La existencia de **dorsales submarinas** prueba la existencia de las corrientes de convección del manto. Dichas dorsales, caracterizadas por flujos de calor y por una gran inestabilidad sísmica, corresponderían a las crestas de las corrientes de convección, que, por otra parte, serían la fuerza motora que produce el desplazamiento de los continentes.

## Núcleo

Es la capa más interna de la Tierra, extendiéndose desde la **discontinuidad de Gutenberg**, a 2898 km de profundidad, hasta el centro del globo terrestre. El núcleo representa aproximadamente el **14% del volumen de la Tierra** y el **31-32% de su masa**.

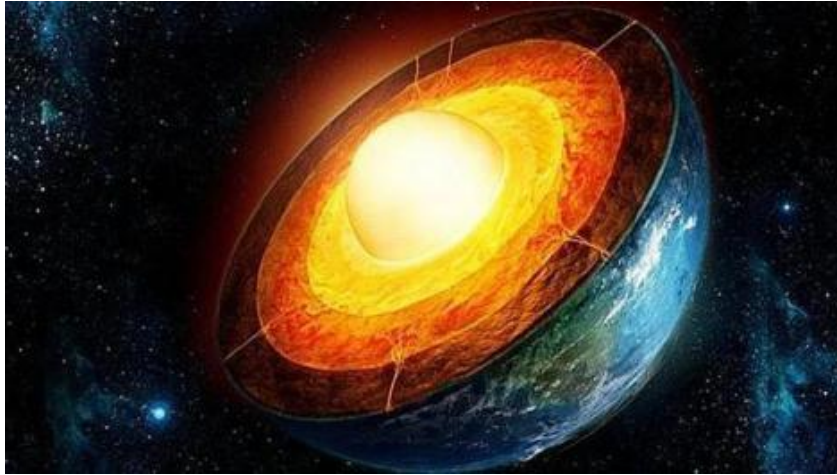
En la actualidad se considera que la composición del núcleo es de **carácter metálico** y que está constituido por **hierro** con cantidades menores de **níquel** y mucho menores aún de **silicio metálico**, azufre, oxígeno y carbono, estos dos últimos formando sulfuros y carburos metálicos respectivamente.

La **densidad general de la Tierra** es de  **$5.5 \text{ g/cm}^3$** , basada en cálculos hechos a partir de la **Ley de la atracción gravitacional de Newton**. Las rocas de la **corteza** tienen relativamente baja densidad, que va desde los  **$2.7 \text{ g/cm}^3$**  para el **granito** hasta los  **$3.0 \text{ g/cm}^3$**  para el **basalto**. Las rocas ultramáficas del manto, sin embargo, probablemente tengan una densidad de  **$3.3 \text{ g/cm}^3$**  en el manto superior, si bien la presión podría elevar este valor a cerca de  **$5.5 \text{ g/cm}^3$**  en la base del manto inferior.

Si la **corteza y el manto**, que contienen aproximadamente el **85% del volumen de la Tierra**, están en o por debajo de la densidad promedio de la Tierra, entonces el **núcleo** debe ser **demasiado denso** para acerca ese promedio a los  **$5.5 \text{ g/cm}^3$** .



Los cálculos muestran que el núcleo debe tener una densidad de aproximadamente **10 g/cm<sup>3</sup>** en el límite núcleo-manto, incrementándose a **12 o 13 g/cm<sup>3</sup>** en el centro de la Tierra. Esta enorme densidad sería suficiente para darle a la Tierra una densidad promedio de **5.5 g/cm<sup>3</sup>**.



El núcleo de la Tierra representa cerca del 14% del volumen de la Tierra. Autor de la imagen desconocido.

Bajo la grandes presiones existentes en el núcleo, un **mezcla de hierro y níquel** tendría una densidad *ligeramente mayor a la requerida en el núcleo*. La aleación **hierro-níquel** con una cantidad de **elementos ligeros**, tales como el **oxígeno, potasio, azufre o silicio** tendría la densidad necesaria. Por lo tanto, muchos geólogos piensan que esta mezcla constituye en núcleo.

Pero estudios recientes de densidad por sí mismos difícilmente son evidencia convincente de que el núcleo es una mezcla de **hierro y níquel**, pues muchas otras sustancias pesadas podrían estar en su lugar.

La hipótesis de una composición esencialmente férrica se basa en el hecho de que el **hierro** es uno de los **elementos pesados de mayor abundancia** en el **sistema solar** y es un elemento sumamente abundante en los **meteoritos metálicos o sideritos**. Los meteoritos, para muchos científicos son **remanentes del material básico** que creó nuestro propio sistema solar. Un estimado del **10% de los meteoritos** está compuesto por **hierro** mezclado con pequeñas cantidades de **níquel**. Un material similar a estos meteoritos pudo haber ayudado a crear la Tierra, depositándose tal vez en el **centro de la Tierra** debido a su **alta densidad**; el otro **90%** de los meteoritos está compuesto principalmente de **rocas ultramáficas** y quizás represente el material que compone el **manto**. La composición de esos meteoritos, entonces, podría decirnos de que está hecho el núcleo terrestre.

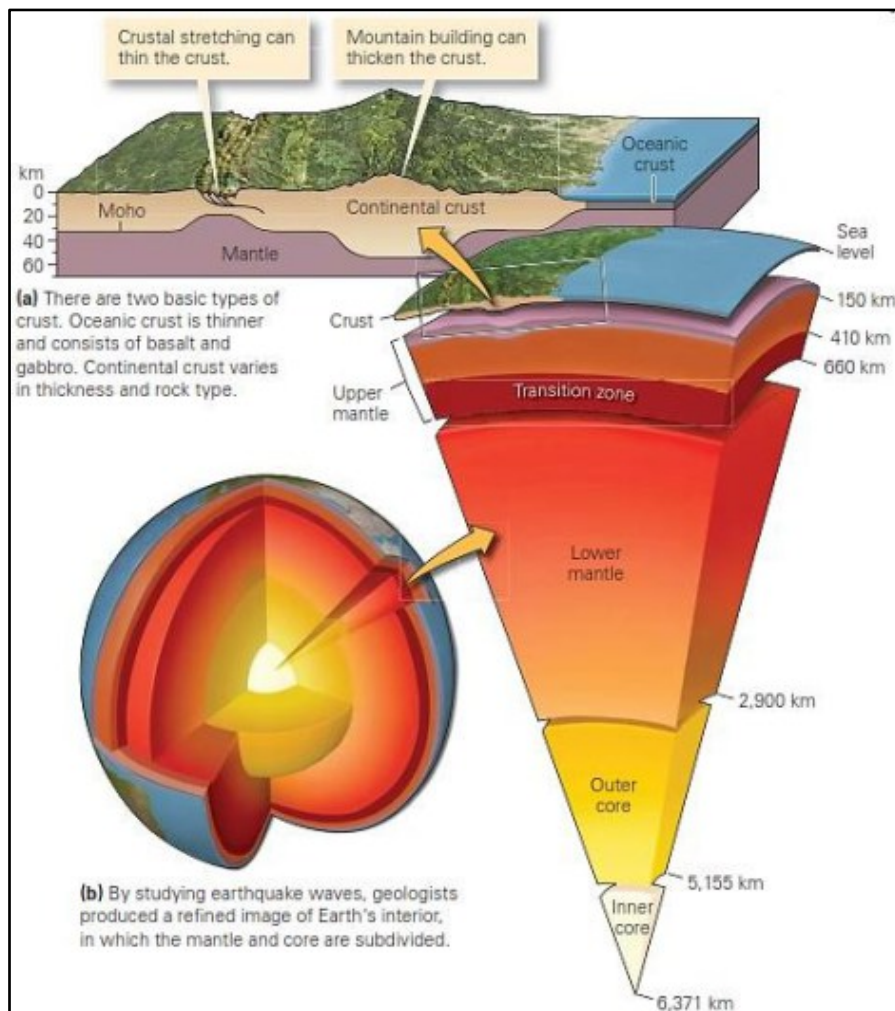
De esta manera, la combinación de la **información sísmica** y de **densidad** con las suposiciones basadas en la **composición de los meteoritos**, indicarían que el **núcleo** contiene **hierro y níquel** con al menos la **parte más externa** siendo **líquida**. La densidad de los materiales del núcleo, teniendo en cuenta la hipotética composición expuesta y las velocidades de transmisión de las ondas sísmicas a través del mismo, oscilará entre **10 gr/cm<sup>3</sup>**, en sus zonas más externas, y **13.6 gr/cm<sup>3</sup>** en sus zonas más internas.

El núcleo metálico sería el principal factor estructural del campo magnético terrestre, al imantarse por inducción debido a las corrientes eléctricas que circulan en el núcleo externo y en las capas profundas del manto.

Sobre las condiciones termodinámicas de los materiales del núcleo se tienen pocos datos, pero se admite que las presiones alcancen valores de varios **centenares de miles de atmósferas** y las temperaturas sean del orden de algunos miles de grados centígrados, como máximo **4000-5000 °C**.

## Modelo Mecánico o dinámico

Además de las 3 principales capas de la Tierra, se han identificado otras capas en el interior de nuestro planeta que difieren composicionalmente de las demás. Así, el modelo mecánico se basa en el comportamiento físico de los materiales que componen el interior del planeta Tierra, dividiéndolo en **Litósfera, astenósfera, manto superior, manto inferior, núcleo externo y núcleo interno**.



Modelo de las capas de la Tierra en base a sus propiedades físicas. Imagen tomada de Stephen Marshak. Essentials of Geology, 2013.

Las ondas sísmicas viajan a diferentes velocidades a través de dichas capas; una alternativa para pensar en las capas de la Tierra proviene del estudio de la capacidad de las rocas para fluir o no. En este orden de ideas, distinguimos entre **materiales rígidos**, los cuales pueden deformarse o romperse pero no fluir, y los materiales plásticos, los cuales son relativamente suaves y pueden fluir sin romperse.

## Litósfera

Los geólogos han determinado que los **100 a 150 km más superficiales de la Tierra** son relativamente **rígidos**. En otras palabras, la Tierra tiene una cubierta compuesta por rocas que no fluyen fácilmente. Esta capa se conoce como litósfera (del griego *lithos* que significa "piedra") y consiste en la **corteza terrestre** y la parte superior y más fría del manto, conocida como **manto litosférico**. De acuerdo con la famosa teoría de la **Tectónica de Placas**, la **litósfera** no es un caparazón o cubierta continua: está dividida en cerca de una docena de placas que se mueven sobre la superficie de la Tierra a velocidades muy bajas, de apenas unos pocos centímetros por año.



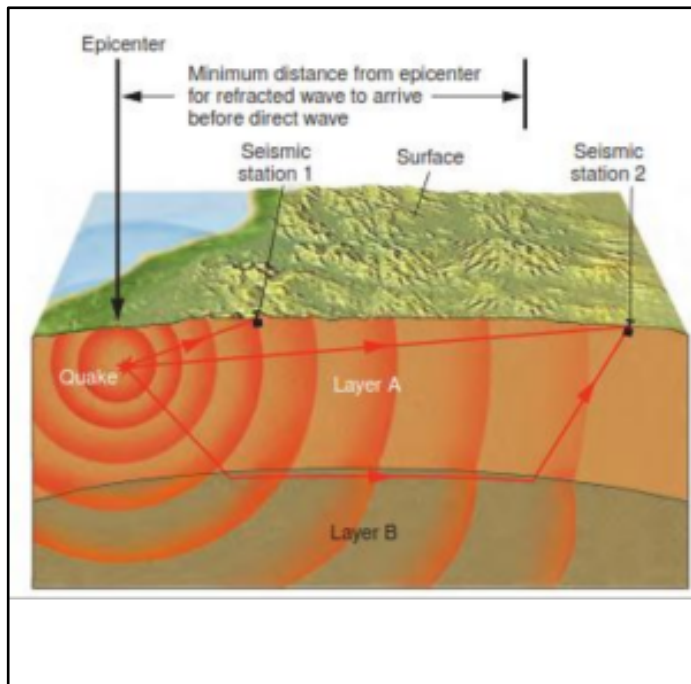
La litósfera está compuesta por la parte más superficial y sólida de la Tierra, de unos cuantos kilómetros de espesor. Fotografía de la Cordillera del Himalaya tomada por la NASA.

Cada placa es una unidad rígida que se encuentra sobre la **astenosfera**, la cual también está en movimiento. La litósfera que forma las placas puede tener solo unos cuantos kilómetros de grosor en áreas volcánicas activas y quizás unos 200 km de grosor o más debajo de las partes más viejas y frías de los continentes.

Los geólogos distinguen dos tipos de litósfera:

1. **Litósfera oceánica:** Compuesta por la corteza oceánica en su parte superior, generalmente tiene un grosor de cerca de 100 km.
2. **Litósfera continental:** Compuesta por la corteza continental en su parte superior, generalmente tiene un espesor de cerca de 150 km.

## Astenósfera



La sismica de refracción puede ser usada para detectar límites entre capas de rocas. Imagen tomada de Diane H. Carlson, et. al., Physical Geology: Earth Revealed. 2011

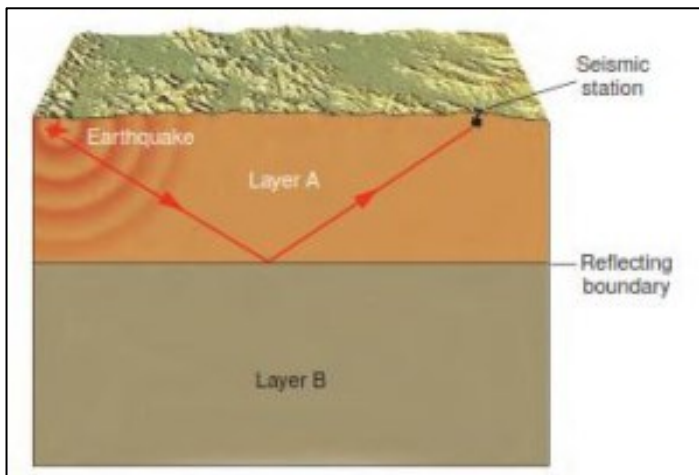
Generalmente, las ondas sísmicas incrementan su velocidad conforme aumente la profundidad, debido a que con el aumento de presión propiedades de la roca se alteran.

Sin embargo, a profundidades cercanas a los 70 a 125 kilómetros, las ondas sísmicas viajan más lentamente que en las capas más someras o superficiales, denominándose a esta zona como **zona de baja velocidad**.

Esta zona, que se extiende a **profundidades** de tal vez hasta **200 kilómetros** (124 millas), también es llamada, en la teoría de la **tectónica de placas** como **astenosfera** (del griego *asthenes* que significa "débil").

El límite entre la **litósfera** y la **astenosfera** está en donde las temperaturas alcanzan los **1280 °C**; algunos geólogos piensan que las rocas de la astenosfera pueden estar parcialmente fundidas, formando una mezcla de cristales y roca fundida; un porcentaje muy pequeño de líquido en la astenosfera puede ayudar a explicar algunas de sus propiedades físicas.

Las rocas en esta zona pueden estar más cerca de su punto de fusión que las rocas por encima de esta zona o por debajo de ella (si bien las rocas de esta zona son probablemente no tan calientes como las rocas de abajo, estas más cerca de fundirse porque son más ricas en minerales con bajos puntos de fusión que las rocas que están a mayor profundidad – los puntos de fusión son controlados por presión y temperatura).



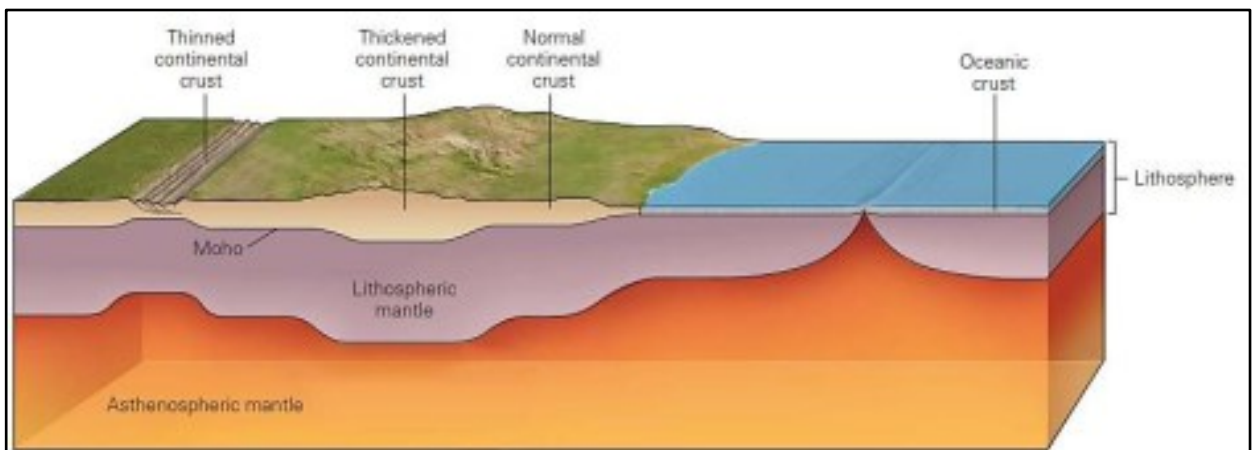
Sísmica de reflexión. Ondas sísmicas se reflejan desde límites de rocas profundos dentro de la Tierra y regresan a la estación sísmica en la superficie. Imagen tomada de Diane H. Carlson, et. al., Physical Geology: Earth Revealed. 2011

Si las rocas de la astenósfera están cerca de su punto de fusión, esta zona podría ser importante por 2 razones:

1. Podría representar la zona en la que el magma es generado
2. Las rocas de esta zona podrían tener relativamente poca rigidez y por lo tanto son propensas a fluir.

Si las rocas en la astenósfera son menos rígidas que las rocas suprayacentes de la litósfera, entonces la astenósfera puede deformarse fácilmente. Las placas de la litósfera probablemente se mueven fácilmente sobre la astenósfera, la cual puede actuar como una capa lubricante debajo. La astenósfera está enteramente contenida en el manto y generalmente se encuentra debajo de los **100 o 150 km de la litósfera**. No podemos asignar una profundidad específica a la base de la astenósfera debido a que todo el manto debajo de los **150 km** puede fluir, pero por conveniencia, algunos geólogos consideran que la base de la astenósfera está por encima de la **zona de transición**.

Existe un acuerdo generalizado en la existencia y profundidad de la astenósfera debajo de la litósfera oceánica, pero un considerable desacuerdo acerca de la astenósfera debajo de la litósfera continental. Y es que algunos geólogos piensan que no hay astenósfera en absoluto debajo de los continentes. Las razones de este desacuerdo son resultado del rápido desarrollo en el campo de la tomografía sísmica.



Bloque diagrama de la litósfera, enfatizando en la diferencia entre la litósfera oceánica y la continental. Imagen tomada de Stephen Marshak. Essentials of Geology, 2013.

## Manto superior e inferior

La información proveniente de la **reflexión y refracción sísmica** indica la existencia de varias capas concéntricas en el manto, como lo demuestra la ilustración 2, con límites prominentes a los **400 y 670 kilómetros** (248 y 416 millas), siendo ésta última la profundidad de los **terremotos más profundos**. Debido a que la presión incrementa



This diagram illustrates the internal structure of the Earth, showing the relationship between depth, seismic wave velocity, and density.

**Layers and Boundaries:**

- Upper mantle:** The outermost layer shown.
- Asthenosphere (low-velocity zone):** A region within the upper mantle where seismic wave velocities decrease.
- Lithosphere:** The rigid upper portion of the upper mantle.
- Mantle:** The region between the lithosphere and the core-mantle boundary.
- Core-mantle boundary:** The boundary between the mantle and the core.
- Liquid outer core:** The region between the core-mantle boundary and the solid inner core.
- Solid inner core:** The centralmost region of the Earth.

**Seismic Wave Velocities (km/sec):**

- P waves:** Represented by a solid purple line. They travel through all layers, with a significant increase in velocity at the core-mantle boundary.
- S waves:** Represented by a dashed purple line. They travel through the mantle and the solid inner core but are blocked by the liquid outer core.

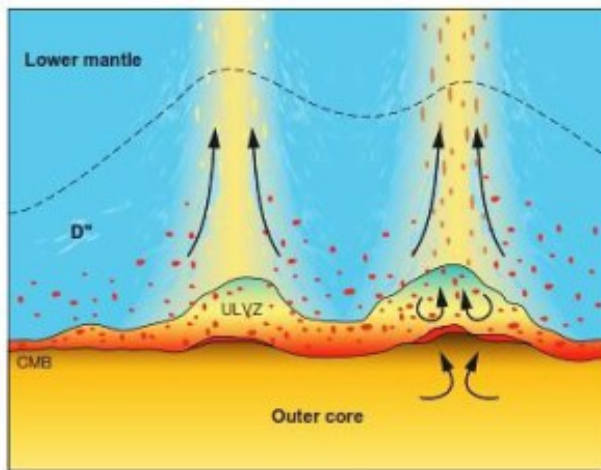
**Density (gm/cm<sup>3</sup>):**

- 2.7–3.3 gm/cm<sup>3</sup>:** Density of the upper mantle.
- 3.3 gm/cm<sup>3</sup>:** Density at the core-mantle boundary.
- 5.5 gm/cm<sup>3</sup>:** Density of the liquid outer core.
- 10–12 gm/cm<sup>3</sup>:** Density of the liquid outer core.
- 12–13 gm/cm<sup>3</sup>:** Density of the solid inner core.

**Depth (km):**

- 0 to 1000 km: Upper mantle.
- 1000 to 2900 km: Mantle.
- 2900 to 5000 km: Liquid outer core.
- 5000 to 6000 km: Solid inner core.

Los estudios sísmicos y geodésicos más recientes señalan que las aleaciones de hierro más livianas del núcleo externo líquido pueden reaccionar con los silicatos del manto inferior para formar silicatos de hierro. Así, los “sedimentos” de hierro silicatados menos densos junto con hierro líquido en espacios porosos, ascienden y acumulan en capas desiguales a lo largo de la frontera entre el núcleo y el manto.



Esquema que ilustra la forma de la zona de ultra baja velocidad (ULVZ), en la zona de transición núcleo-manto conocida como capa D'').

Imagen tomada de Diane H. Carlson, et. al., Physical Geology: Earth Revealed. 2011

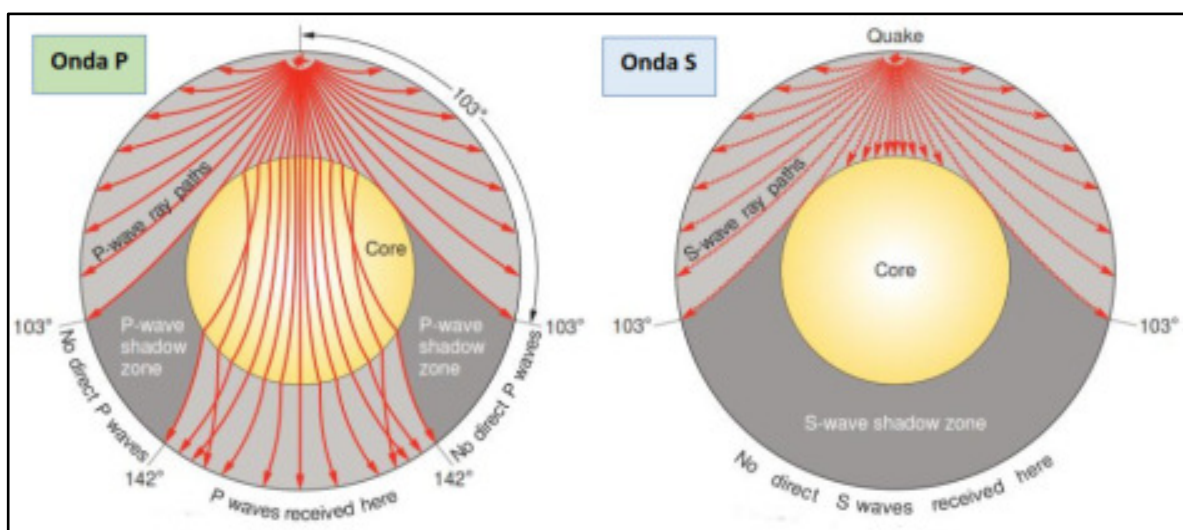
La presión de la acumulación de "sedimentos" a lo largo de la frontera hace que parte del hierro líquido sea expulsado de los espacios porosos para formar una capa eléctricamente conductora que conecta el núcleo y el manto, explicando la disminución de las velocidades sísmicas en la zona de ultra baja velocidad. Puede ser difícil de probar si el manto inferior está parcialmente fundido por su contacto con el núcleo o si el núcleo está reaccionando químicamente con el manto.

Lo que si es casi seguro, es que tanto el manto como el núcleo están sufriendo **convección**, un patrón de circulación en el cual se eleva el material de baja densidad mientras que el de alta densidad desciende. Basado en estudios de tomografía sísmica, las porciones pesadas del manto (incluyendo las placas de subducidas) se hunden hacia su base, pero son incapaces de penetrar en el núcleo (más denso). Porciones calientes del núcleo podrían subir a su cima e incorporarse en el manto. Esto es sugerido por recientes estudios isotópicos de la **pluma de manto** (o **penacho mantélico**) que alimenta el punto caliente de Hawái. Las rocas volcánicas de Hawái (basaltos) contienen una firma isotópica que es característica del núcleo

## Núcleo externo e interno

Información de ondas sísmicas provee la evidencia principal la de existencia del núcleo terrestre. Las ondas sísmicas provenientes de grandes terremotos no alcanzan ciertas áreas del lado opuesto de la Tierra.

La figura de arriba muestra como las **ondas sísmicas P** se extienden desde un terremoto hasta  $103^\circ$  (11 500 kilómetros) del epicentro y de repente desaparecen de los sismogramas. A más de  $142^\circ$  (15 500 kilómetros) del epicentro, las ondas P reaparecen en los sismogramas. De esta manera, la región comprendida entre los  $103^\circ$  y los  $142^\circ$ , con ausencia de ondas P, se denomina **zona de sombra de onda P**.



Del lado izquierdo, la zona de sombra de la onda P, causada por la refracción de las ondas P dentro del núcleo de la Tierra. Del lado derecho la zona de sombra de la onda S. Debido a que las ondas S no pasan a través del

núcleo, el núcleo es aparentemente líquido (o se comporta como un fluido). Imagen tomada de Diane H. Carlson, et. al., *Physical Geology: Earth Revealed*. 2011

La formación de esta zona puede ser explicada por la **refracción de las ondas P** (cambia su ángulo de incidencia) cuando se encuentran con el límite del **núcleo**; gracias a que la trayectoria de las ondas P pueden ser calculadas con precisión, incluso el **tamaño** y la **forma** del núcleo pueden ser determinadas.

Una diferencia significativa entre las ondas P y las ondas S es que las **ondas P** pueden viajar a través de materiales tanto **sólidos** como **fluidos**, mientras que las **ondas S** pueden viajar **únicamente** a través de **materiales sólidos**.

La **zona de sombra de la onda S** es incluso **más extensa** que la zona de sombra de la onda P y es precisamente debido a lo anterior. Las ondas S directas no son registradas en toda la región comprendida a más de **103° de distancia del epicentro del terremoto**. De esta manera, la zona de sombra de la onda S parece indicar que este tipo de ondas **no atraviesan el núcleo** en absoluto. De ello resultaría que el **núcleo de la Tierra sea líquido**, o al menos que se comporte como uno.

La manera en la que las ondas P son refractadas en el interior del núcleo terrestre (como muestran cuidadosos análisis de sismogramas) sugiere que el núcleo tiene 2 partes, a saber:

- **Núcleo externo:** se extiende desde los 2898 km de profundidad (*discontinuidad de Gutenberg*) hasta los 5154 km de profundidad (*discontinuidad de Weichert*). Las características sísmicas del núcleo externo, especialmente la no transmisión de las ondas S a través de él, hace suponer que se comporta como un **líquido** (para numerosos autores sus materiales estarían en estado de fusión)
- **Núcleo interno:** Se extiende desde los 5154 km hasta los 6371 km. Si bien su composición es la misma que la del núcleo externo químicamente hablando, debido a las grandes presiones a las que sus materiales están sometidos, se encuentra en **estado sólido**.

Para complementar la información, me gustaría compartirles un video acerca de **“Todo lo que necesitas saber sobre la Tierra”**, que puedes ver en el canal de Youtube de [Kurzgesagt](#), una excelente animación digital que incluye desde la la formación de la Tierra y la Luna, hasta las capas de la Tierra debajo y por encima de su superficie. El vídeo está en inglés pero cuenta con subtítulos al español. Que lo disfruten.

## Bibliografía

- Carlson, Diane H; Plummer, Charles C. y Hammersley, Lisa (2011). *Physical Geology: Earth Revealed*. 9na edición. Nueva York: McGraw-Hill.
- Chirinos, Gonzálo (Agosto 2014) *Curso de Geotectónica: Selección de gráficas pertinentes al curso*. México, D.F.
- Lutgens, Frederick K.; Tarbuck, Edward J. y Tasa, Dennis (2012) *Essentials of Geology*. 11va edición. U.S.A.: Pearson Education.
- Marshak, Stephen (2013) *Essentials of Geology*. 4ta edición. S.A.: W. W. Norton & Company.
- Monroe, James S; Wicander, Reed y Hazlett, Richard (2007) *Physical Geology: Exploring the Earth*. 6ta edición. U.S.A.: Thomson Brooks/Cole.
- Tarbuck, Edward J.; Lutgens, Frederick K. y Tasa, Dennis (2014). *Earth: An Introduction to Physical Geology*. 11va edición. U.S.A.: Pearson Education.
- Thompson, Graham R. y Turk, Jonathan (1997). *Introduction to Physical Geology*. 2da edición. Editorial Brooks Cole.