



Clase 2 - La Estructura Interna de la Tierra

513113 Introducción a la Geofísica
Pedagogía en Ciencias Naturales

Matt Miller, Daniel Marcos
Departamento de Geofísica
Universidad de Concepción
mrmiller@udec.cl
www.mttmlr.com



Introducción - Objetivos

- Inferir las condiciones térmicas iniciales terrestres a través de argumentos de energía.
- Identificar los procesos necesarios para la generación de las diferentes capas terrestres.
- Describir las propiedades de las diferentes capas terrestres.
- Resumir la evidencia sísmica y magnética que apoya el modelo terrestre.
- Examinar el concepto de placas tectónicas e interpretar patrones de batimetría oceánica.
- Reconocer las diferentes estructuras terrestres asociadas con la tectónica de placas.



Calentamiento Terrestre

- Cuando un meteoróide se acerca a la Tierra, se pierde energía gravitacional que se convierte en energía cinética.
- Una colisión con la superficie terrestre libera parte de esta energía en forma de calor.
- Para cuerpos celestes grandes, la inmensa cantidad de colisiones que ocurren durante su formación genera un cuerpo fundido.



Figura 1: Imagen conceptual de la Tierra en su estado inicial. (Fuente: livescience.com)



Evidencia para una Tierra Inicialmente Fundida

- Las edades de las minerales terrestres más antiguos (~ 3500 millones de años) son más jóvenes que la edad del mismo Sistema Solar (~ 4500 millones de años).
- La Tierra tiene una forma (casi) esférica.
- La masa (y momento de inercia) de la Tierra indican que su densidad aumenta hacia adentro.

Conclusión: Una Tierra inicialmente fundida permite que el material más denso del fundido se hunda por acción de la gravedad y se acumule en su centro.



Evidencia de Meteoritos

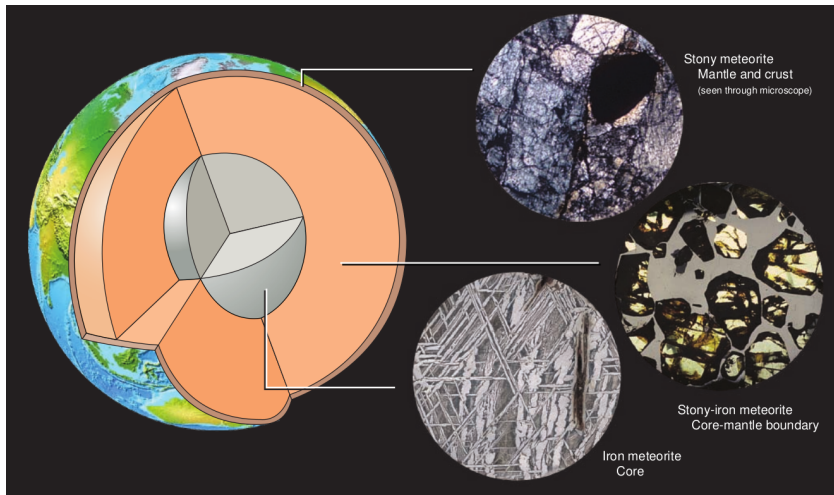


Figura 2: Meteoritos como evidencia sobre la composición terrestre.
(Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Las Capas Terrestres

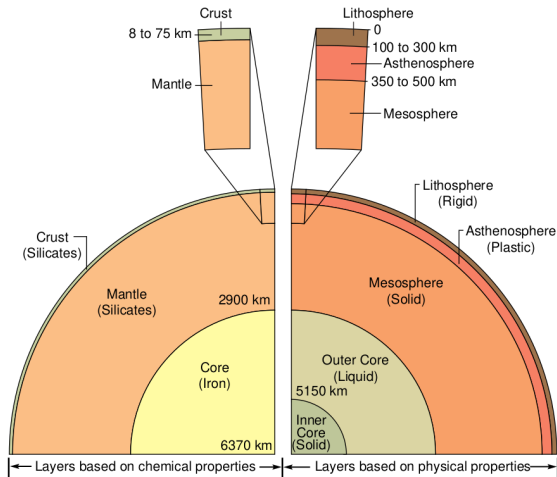


Figura 3: Las capas terrestres. Izquierda: Separación por propiedades químicas; Derecha: Separación por propiedades mecánicas. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Las Capas Terrestres: Composición Química

- La corteza terrestre es la capa exterior.
- La corteza oceánica esta compuesta por una capa de basalto con espesor de aproximadamente 7 km. La corteza oceánica es relativamente joven, con una edad máxima de unos 200 millones de años.
- La corteza continental tiene espesores típicos del orden de 30-100 km y está compuesta predominantemente por roca granítica. Además se pueden tener otras rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias cerca de su superficie, con una edad de hasta ~ 3500 millones de años.
- El manto tiene un espesor de aproximadamente 2900 km, y está compuesto mayormente de minerales de silicato.
- El núcleo terrestre tiene un radio de aproximadamente 3500 km. Está compuesto por una aleación de hierro-níquel.



Las Capas Terrestres: Propiedades Físicas

- La litosfera es la capa exterior sólida y rígida del planeta, que incluye la corteza y parte del manto superior (Figura 3, derecha). El espesor de la litosfera varía entre ~ 10 km (placa oceánica recién nacida) y ~ 300 km (cratones continentales). **Cuando se hablan de placas tectónicas, se habla de los segmentos de litosfera que se muevan encima de la Tierra.**
- Debajo de la litosfera, existe una capa de manto con baja viscosidad llamada astenosfera. Las placas se pueden mover encima de la astenosfera. El resto del manto tiene mayor viscosidad y se llama mesosfera.
- El núcleo de la Tierra tiene dos partes distintas: Un núcleo interno sólido, y un núcleo externo líquido. El núcleo terrestre tiene una densidad alta, algo que es necesario para cumplir con las observaciones de la masa de la Tierra.



Otra Evidencia para la Estructura Terrestre

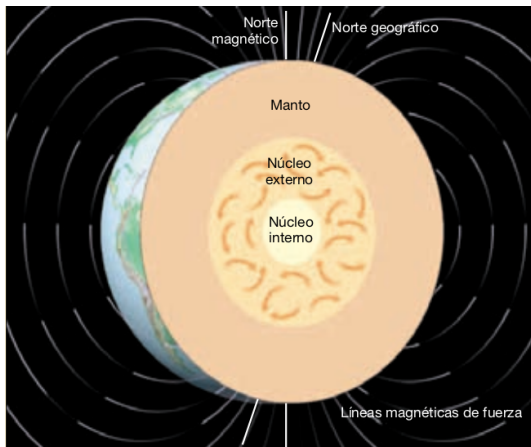


Figura 4: El campo magnético terrestre generado por la geodinamo. (Fuente: Tarbuck y Lutgens Fig. 12C)



Otra Evidencia para la Estructura Terrestre

- La Tierra tiene un campo magnético planetario que se auto-genera a través de la geodinamo.
- El campo magnético ha existido por al menos 3500 millones de años, tiene forma predominantemente dipolar, a veces ocurren inversiones, pero en general el campo es estable.
- El mecanismo preciso para la generación del campo es poco entendido, pero se debe al movimiento de la aleación de hierro-níquel en el núcleo externo.
- **El movimiento de un conductor genera un campo magnético.**
- Es necesario que al menos parte del núcleo sea líquido, para que el conductor se mueva con suficiente velocidad (~ 10 km/año) para generar el campo que observamos.



Otra Evidencia para la Estructura Terrestre

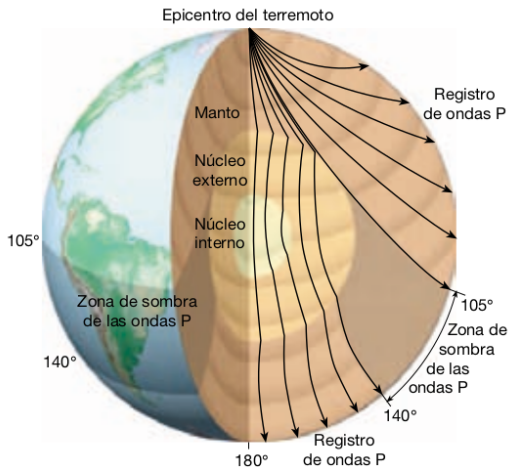


Figura 5: Los caminos de ondas sísmicas compresionales (ondas P) pasando por la Tierra. (Fuente: Tarbuck y Lutgens Fig. 12.8)



Otra Evidencia para la Estructura Terrestre

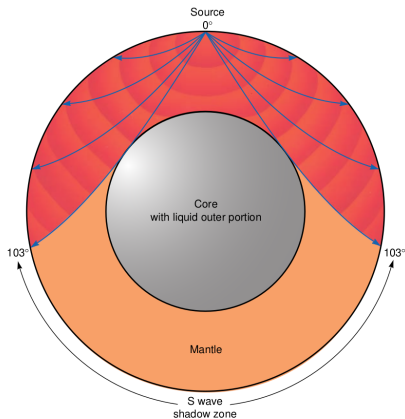


Figura 6: Los caminos de ondas sísmicas de cizalla (ondas S) pasando por la Tierra.
(Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Otra Evidencia para la Estructura Terrestre

- Las figuras 5 y 6 muestran las trayectorias de las ondas sísmicas que pasan por la Tierra.
- Dado que las velocidades sísmicas varían con la profundidad, las trayectorias tiene forma curvilínea debido al efecto de refracción de las ondas.
- Existe mayor refracción en las fronteras entre las capas terrestres con mayor diferencia.
- Debido a esta refracción, existe una zona de sombra donde no llegan registros de onda P dentro de un cierto rango de distancias del epicentro de un terremoto.
- Dado que ondas de cizalla no pasan por los líquidos, la zona de sombra S esta definido por el núcleo externo.



Las Placas Tectónicas

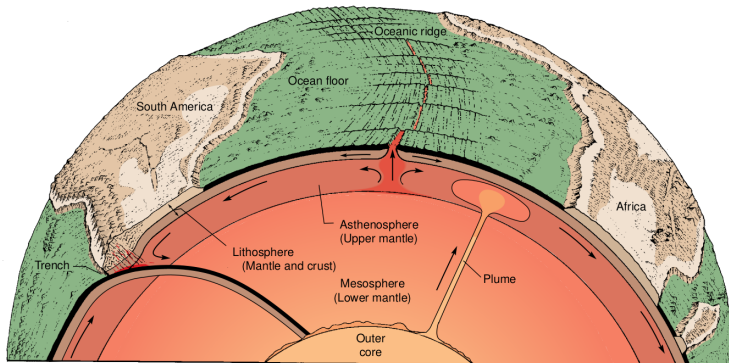


Figura 7: El sistema tectónico terrestre. Las placas rígidas litosféricas se mueven encima de una astenosfera plástica como unidades mecánicas individuales. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Las Placas Tectónicas

- La Figura 7 muestra el sistema tectónico terrestre. Nueva litosfera es creada en las dorsales oceánicas, donde roca fundida sube para llenar el espacio entre las placas separándose.
- La convección en el manto, y las velocidades de las placas, son lentas (a unos centímetros por año).
- Las placas continentales pueden sufrir deformación interna cuando están sujetas a esfuerzos. Por ejemplo, colisiones entre placas puede producir márgenes continentales de cadenas montañosas como Los Andes. Estos márgenes están muy activos, y contienen volcanismo, actividad sísmica y deformación cortical.
- Plumitas del manto se producen localmente por puntos calientes en el manto y convección de este material hacia la superficie.



Dorsales Oceánicas

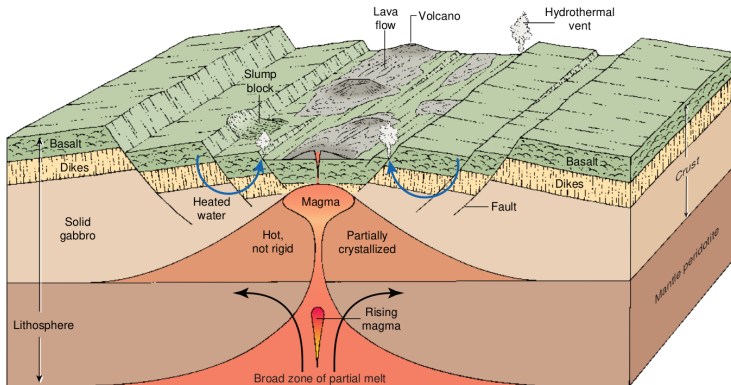


Figura 8: Una sección transversal de una dorsal oceánica. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Dorsales Oceánicas

- La Figura 8 muestra la situación tectónica en una dorsal oceánica, donde material del manto a alta temperatura asciende, por su flotabilidad, a través de la litosfera, y luego se mueve lateralmente.
- El magma del fundido resultante se puede propagar hacia la superficie, donde erupciones generan nuevo material basáltico.
- Agua hidrotermal pasa por fisuras pequeñas para formar fumaroles hidrotermales que se enfrían cuando se mezclan con el agua oceánica.
- La separación de las dos placas siempre tiene forma simétrica, y la extensión se puede apreciar a través de fallas normales (más sobre fallas en la semana de sismología).
- Las placas tienen su mayor temperatura, y entonces menor densidad, cerca de las dorsales.



Dorsales Oceánicas

- Cabe mencionar que encima de una esfera tridimensional, el movimiento entre dos placas se modela por una rotación alrededor de un polo.
- La mayor distancia del polo, y la mayor velocidad de separación se ve en la situación presentada en la Figura 9.
- Fallas transversales existen debido a estas velocidades distintas.

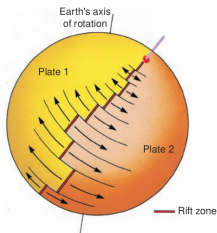


Figura 9: Una separación entre dos placas encima de una esfera se modela por una rotación alrededor de un polo. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Zonas de Subducción

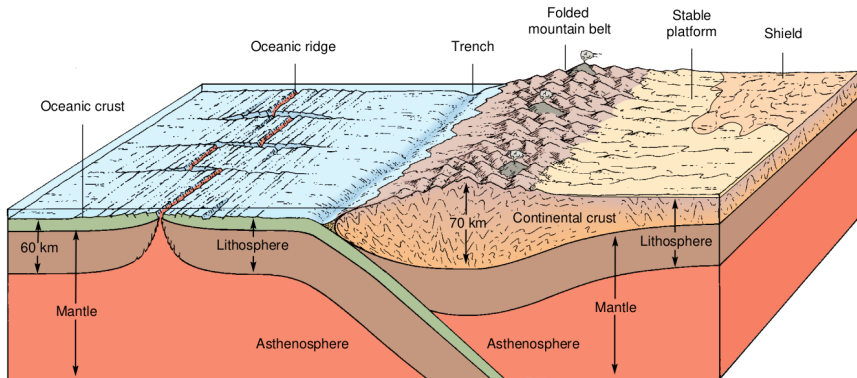


Figura 10: Representación del ciclo de vida de una placa oceánica, que nace en una dorsal oceánica y muere en una zona de subducción. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Zonas de Subducción

- En la Figura 10, se puede ver que los océanos tienen su menor profundidad en su centro, en las dorsales oceánicas.
- Mientras que se aleja de la dorsal, la placa oceánica se enfría, aumenta su densidad, y se hunde aumentando la profundidad del océano.
- Cerca de las fosas de subducción, el doblamiento de la placa oceánica aumenta aún más la profundidad oceánica.
- La litosfera que subduce está típicamente fría y rígida por su edad. La fricción que existe en una zona de subducción genera terremotos.
- Las zonas de subducción con mayor peligro sísmico típicamente tienen una placa vieja que subduce a gran velocidad.



Sísmicidad Global

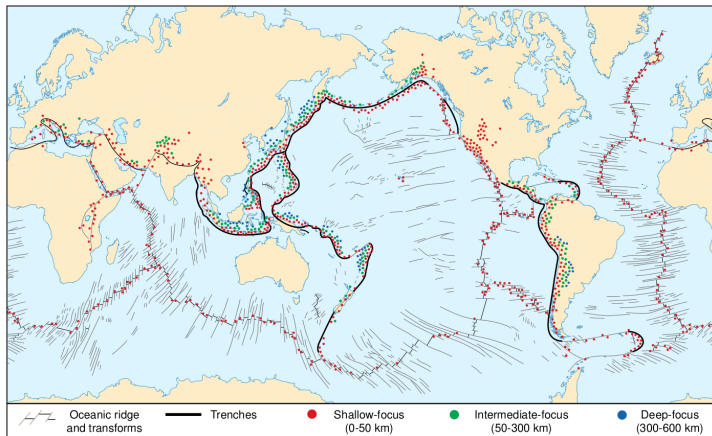


Figura 11: La sísmicidad global se relaciona con zonas de extensión como las dorsales, zonas de colisión como las de subducción, fallas transformantes y puntos calientes en el manto. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Las Placas Tectónicas

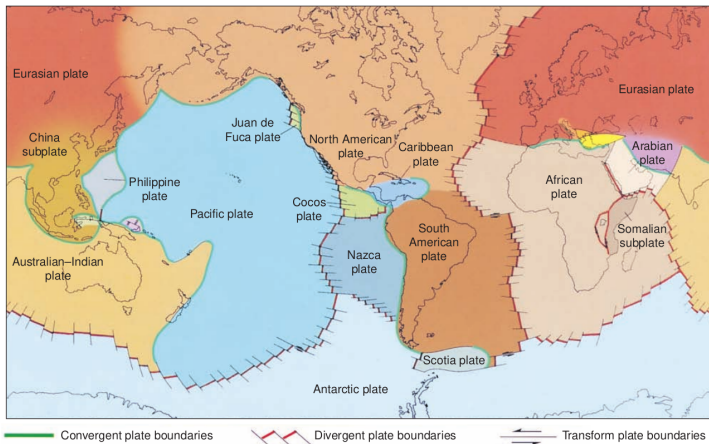


Figura 12: Las placas terrestres. Las placas son subunidades rígidas de la litosfera, y cada placa se mueve como una unidad individual (por supuesto, cada placa tiene su propia deformación interna). (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



Resumen - Conclusiones

- La diferencia entre las edades de los minerales y los meteoritos encontrados en el planeta indican una Tierra inicialmente fundida.
- Las diferencias de densidad de las materiales causó la formación del núcleo terrestre.
- Podemos visualizar las capas terrestres desde un modelo físico o bien desde un modelo químico.
- El campo geomagnético, y observaciones sísmicas entregan evidencia para la existencia del núcleo, con su exterior líquido.
- El sistema tectónico terrestre da lugar a nueva litosfera (material rígida) creada en las dorsales oceánicas que luego esta reciclada en las zonas de subducción.
- La sismicidad global se encuentra mayormente en las fronteras entre las placas tectónicas.



Preguntas

- 1 ¿Por qué muchos asteroides tienen una forma irregular mientras que planetas están más esféricas?
- 2 ¿Por qué el núcleo interno de la Tierra es sólido, mientras que esta a mayor temperatura que el núcleo externo líquido?
- 3 El campo magnético terrestre ha existido por miles de millones de años. ¿De dónde viene la energía para mantener el proceso? ¿El campo magnético terrestre siempre va a existir?
- 4 La zona de sombra P existe entre distancias de 105° y 140° del epicentro de un terremoto. ¿A qué se refieren estos ángulos? ¿Qué son estas distancias en kilómetros? (Radio terrestre es 6371 km).
- 5 ¿Por qué, en una zona de subducción, es la placa oceánica que subduce debajo de la placa continental?



- 6 Buscar un video de fumaroles hidrotermales en youtube o similar y responde al siguiente: ¿por qué dan la apariencia de una salida de humo? ¿De qué consiste este humo?
- 7 ¿Por qué la sismicidad mostrada en la Figura 11 alcanza a mayores profundidades en el centro de la zona de subduccion de la Placa Nazca en Sudamérica?
- 8 ¿Por qué la Tierra tiene una forma de una elipsoide? ¿Cuál es mayor - su radio ecuatorial o su radio polar? ¿Cuál es el punto terrestre lo más lejos del centro (de masa) de la Tierra?



Preguntas

- 9 Explique la distribución geográfica y de edades de las islas de Hawái mostradas en la Figura 13. Use el patrón de los montes submarinos antiguos del punto caliente de Hawái para determinar la dirección del movimiento de la Placa Pacífica en el pasado.

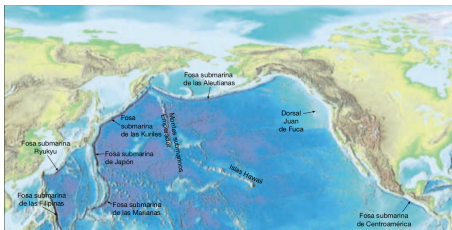
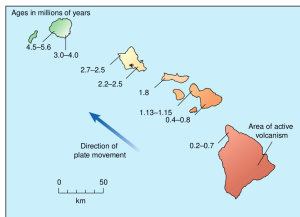


Figura 13: Izquierda: Las edades de las islas de Hawái. Derecha: La batimetría del norte del Pacífico, mostrando los montes submarinos (Fuentes: Earth's Dynamic Systems; Tarbuck y Lutgens Fig. 1.6.)



Preguntas

- 10 La Figura 14 muestra una esquema de la formación de un valle de rift. ¿En qué continente existe un valle de rift hoy en día? Identifíquelo en la Figura 11. ¿Qué pasará a este valle en 50 millones de años?

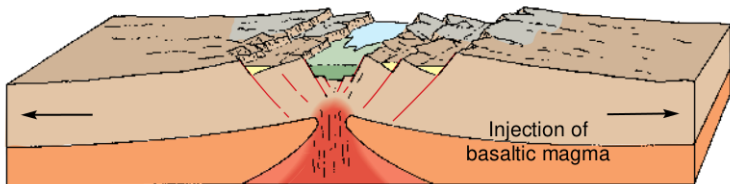


Figura 14: Esquema describiendo la formación de una Valle del Rift. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



- Investigar las propiedades del campo magnético terrestre. Cómo se cambia año tras año, sus excursiones e inversiones. Contemplar por qué este campo se varía de una manera tan caótico.
- Leer **EMOL: Estudio afirma que el núcleo de la Tierra se detuvo**. ¿Es razonable que el núcleo interno de la Tierra puede girar a una tasa ligeramente distinta que su exterior? ¿Si tengo un huevo duro y un huevo no cocido - cómo puedo diferenciar entre ellos (sin romper!)?
- Explorar **datos de deformación GPS** de UNAVCO. Identifique la deformación asociada con la Falla San Andrés en Norteamérica. Identifique la deformación causada por la subducción de la Placa Juan de Fuca.

