

TEMA 3. ESTRUCTURA E COMPOSICIÓN DA TERRA

A Terra é un planeta esférico constituído por unha masa sólida (xeosfera) que está rodeada dunhas envolturas fluidas (atmosfera e hidrosfera) unidas a ela pola forza da gravidade. A esfera sólida está lixeiramente achatada polos polos e ten un radio medio de 6.370 Km. A densidade global da Terra é de $5,5 \text{ g/cm}^3$, mentras que a das rochas da codia é de $2,6 \text{ g/cm}^3$ o que fai pensar na existencia de materiais máis densos no seu interior. Adicaremos este tema a estudar a estrutura e composición da xeosfera.

3.1- MÉTODOS DE ESTUDIO.

Métodos directos

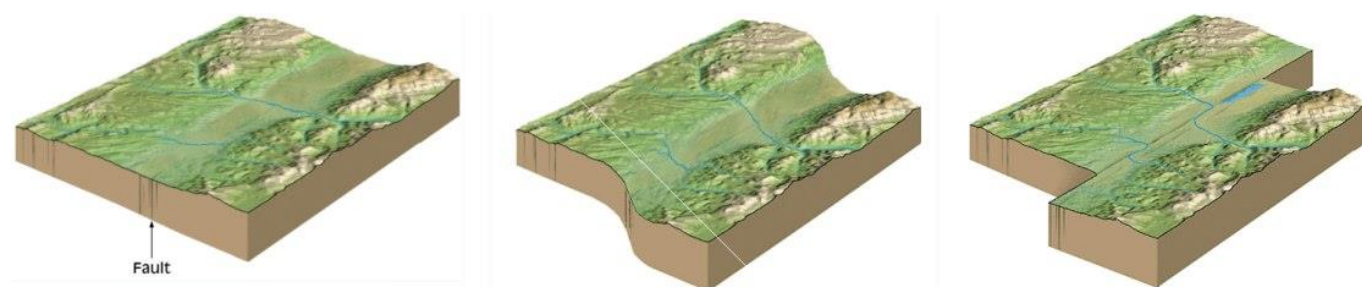
A mellor maneira de coñecer os materiais e o estado do interior terrestre é obter mostras a distintas profundidades. Isto pódese conseguir aproveitando as perforacións mineiras existentes ou facendo sondeos con técnicas especiais que permiten recuperar o material a esas profundidades (testemuña). As minas máis profundas acadan os 3,6 Km de profundidade, mentres que os sondeos acadaron profundidades máximas de 14 Km. En ambos casos é apenas un rabuño en toda a estrutura da Terra.

Tamén se poden considerar, aínda que con certas reservas, como métodos directos outros dous:

- Afloramentos de rochas profundas. Son materiais que inicialmente se encontraban a grandes profundidades e que polos mecanismos da tectónica de placas acadan a superficie onde os podemos observar. Un exemplo son os complexos ofiolíticos nos que aparecen rochas do tipo das peridotitas.
- Meteoritos. Un meteorito é calquera corpo procedente do espazo exterior que chega á Terra. A maioría son destruídos polo rozamento coa atmosfera, pero algún chega a impartir na superficie de onde se poden recoller e estudar. Basicamente existen dous tipos de meteoritos: pétreos, formados por rochas similares ás peridotitas e férricos, formados por unha aliaxe de ferro con algo de níquel. Se asumimos unha orixe común para tódolos corpos do sistema solar é de supoñer que estes meteoritos son fragmentos de planetas que estouparon ou que non se chegaron a formar.

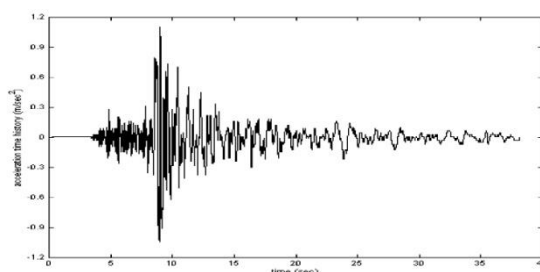
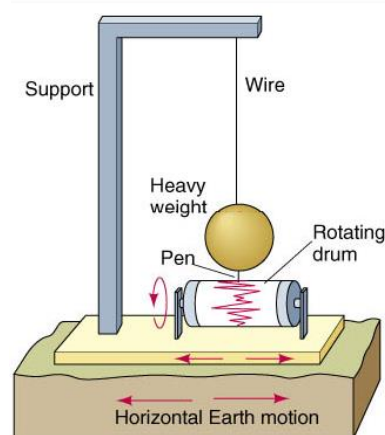
Métodos indirectos: as ondas sísmicas

Baseanse no estudo das ondas sísmicas e son os que nos ofrecen unha maior información sobre a estrutura da Terra. As ondas sísmicas son causadas polos seismos ou terremotos. Un seísmo é unha sacudida brusca do solo causada por unha súbita liberación de enerxía. Estes seismos se orixinan en zonas da terra sometidas a esforzos de cizalla (forzas en sentido contrario non aplicadas no mesmo punto). Estas forzas causan unha progresiva deformación das rochas ata que supera o límite da súa elasticidade, nese momento rompen liberando bruscamente a enerxía acumulada (figura inferior), mecanismo que se coñece co



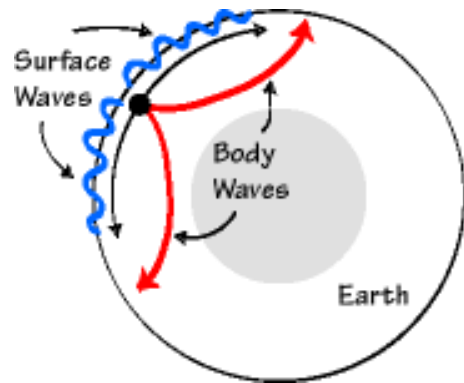
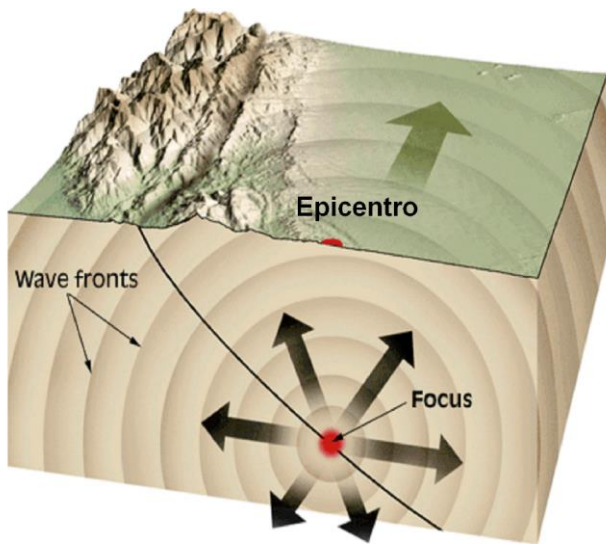
nome de **rebote elástico**.

Esta enerxía se transmite dende a zona de liberación (foco ou hipocentro) en tódalas direccións mediante ondas sísmicas (figuras da páxina seguinte). As ondas sísmicas rexístranse nuns aparatos chamados **sismógrafos** e o rexistro chámase **sismograma** (figuras da esquerda). A zona da superficie terrestre máis próxima ó foco do seísmo se lle chama **epicentro**.



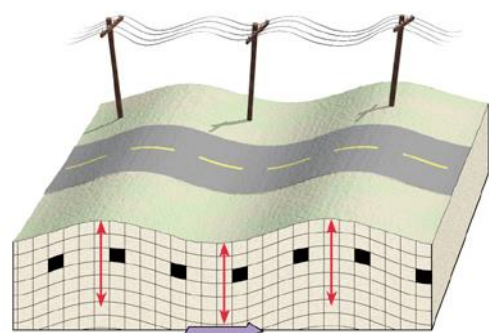
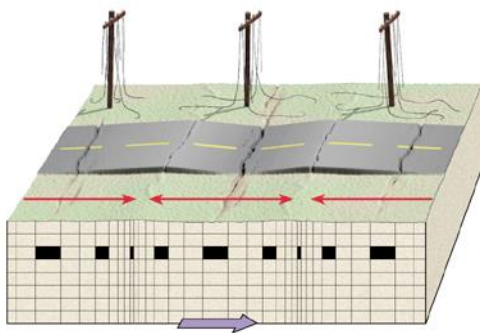
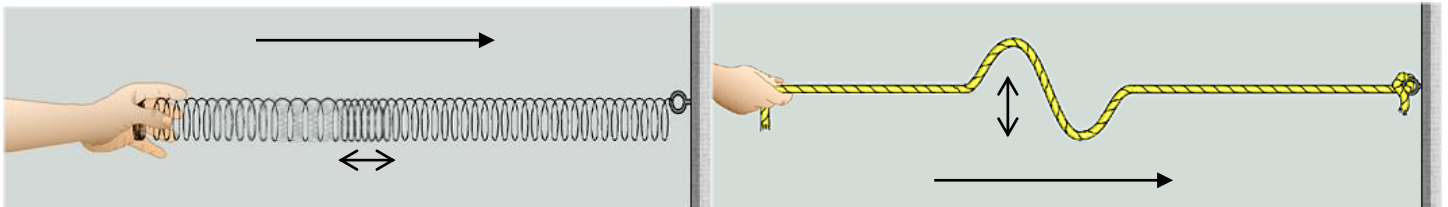
de ondas sísmicas: ondas de corpo, terra, e ondas superficiais, que se causa dos destrozos. Para coñecer o interior terrestre so nos interesan as ondas de corpo porque son as que viaxan por él.

As ondas sísmicas son un tipo de ondas mecánicas que transmiten enerxía por vibración de partículas materiais (é dicir, a enerxía se transmite dunhas partículas a outras sen que estas sufran desprazamentos significativos). Existen dous tipos que se transmiten polo interior da Terra: as ondas de corpo, que se transmiten pola superficie e son a



Existen dous tipos de ondas de corpo: ondas P e ondas S.

- Ondas P ou lonxitudinais, tamén chamadas primarias por ser as máis rápidas. Son ondas de compresión e nelas a dirección da vibración das partículas é paralela á dirección da propagación da onda (figura inferior esquerda)
- Ondas S ou transversais. Tamén chamadas secundarias por ser máis lentas cas anteriores. Neste caso a dirección da vibración das partículas é perpendicular á dirección de propagación da onda (figura inferior dereita).

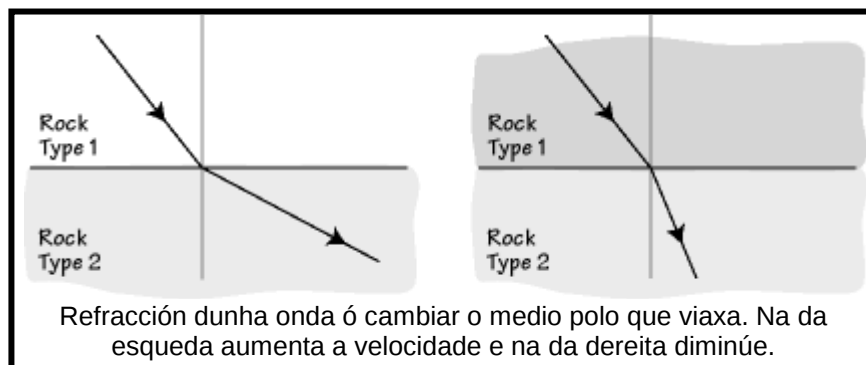


O estudo destas ondas nos permite obter información do interior terrestre por dúas razóns: a) a súa velocidade depende das características do medio polo que pasan, polo tanto se coñecemos a súa velocidades podemos ter información do medio que atravesan; b) se cambian de medio prodúcese un cambio na traxectoria das ondas.

a) A velocidade das ondas sísmicas

A velocidade dunha onda so depende das características do medio polo que viaxa, concretamente:

- Para un mesmo medio a velocidade das ondas P é maior ca das S.



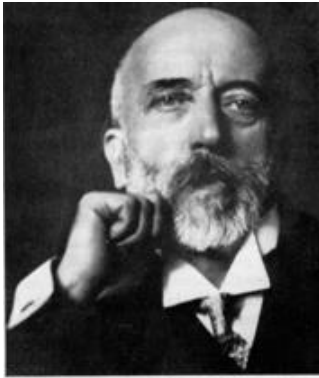
- Canto maior é a rixidez do medio maior é a velocidade xa que as partículas vibran máis rápido.
- As ondas S so se transmiten sólidos, mentres que as P o fan por tódolos medios, aínda que a súa velocidade diminúe moito nos fluídos (líquidos e gases).

b) A traxectoria das ondas sísmicas

Se unha onda sísmica cambia de medio a súa traxectoria se modifica refractándose ou reflectíndose do mesmo xeito que os raios luminosos (por iso cando metemos un lapis

na auga parece que está roto).

3.2- ESTRUCTURA XERAL DA TERRA: DISCONTINUIDADES.



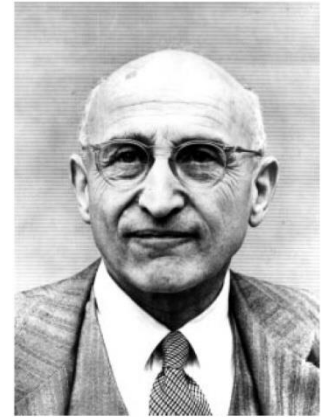
As superficies onde se producen fortes cambios na velocidade das ondas e polo tanto na súa traxectoria, chámanse **discontinuidades sísmicas**, e se corresponden cos límites das grandes capas da Terra. A principios do século XX quedaron establecidas as dúas principais discontinuidades: Mohorovicic e Gutemberg, descubríndose a terceira un pouco máis tarde: Wiechert-Lehman. Isto foi posible grazas ó establecemento dunha rede sismolóxica internacional que permitía obter sismogramas dun mesmo terremoto en distintos lugares da Terra.

A **discontinuidade de Mohorovicic** separa a codia do manto e está situada a unha profundidade variable (10-40 Km) e se descubriu analizando rexistros de sismos próximos á estación receptora (exercicio 1).

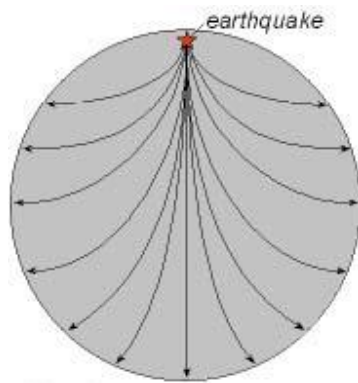
A **discontinuidade de Gutemberg** está situada a uns 2.900 Km, separa o manto do núcleo e é a máis nítida de todas. Descubriuse analizando rexistros de sismos acontecidos lonxe das estacións receptoras. Cando se producía un sismo non se obtían rexistros en toda a superficie terrestre como cabería esperar se esta fose unha esfera homoxénea (figura da esquerda, as traxectorias curvas débense a que co aumento da presión aumenta a rixidez e polo tanto a velocidade de xeito gradual), senón que aparecían zonas con ausencia de ondas (zonas de sombra).

En concreto as ondas P deixábanse de recibir ós 104° a partir do foco do sismo e aparecían de novo ós 140° . Polo que respecta ás ondas S estas tamén desaparecían ós 104° pero non volvían a aparecer.

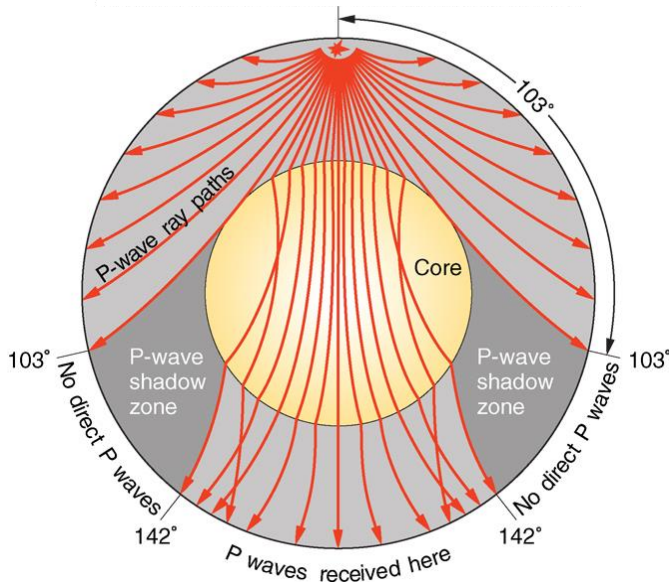
Esto permitía deducir a existencia a uns 3000 km de profundidade dunha superficie onde as ondas P variaban a súa traxectoria e as S desaparecían (polo tanto daba paso a un medio líquido).



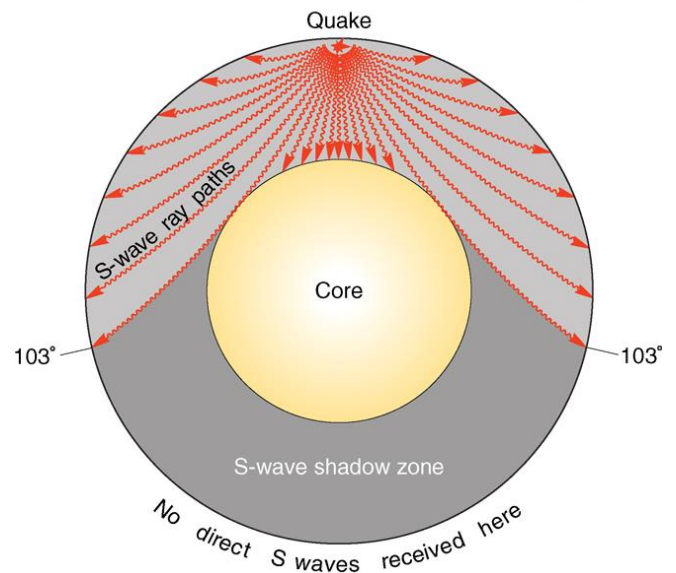
Beno Gutenberg.



ZONA DE SOMBRA DAS ONDAS P

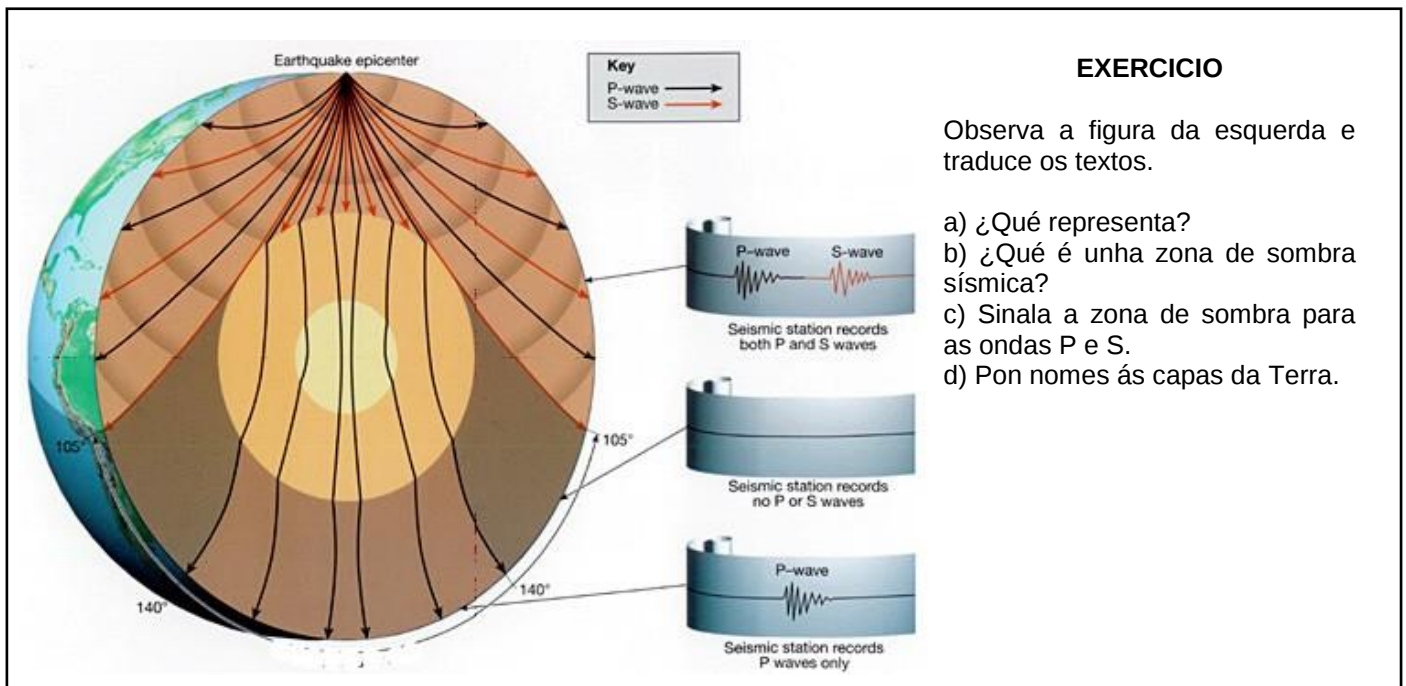
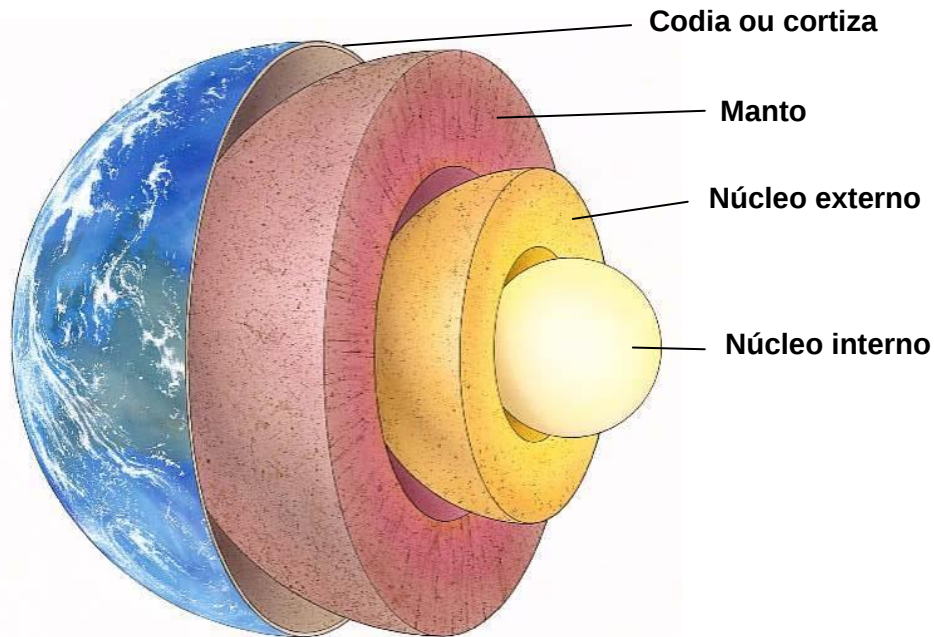


ZONA DE SOMBRA DAS ONDAS S



A terceira discontinuidade foi descuberta pola sismóloga danesa Inge Lehman no ano 1936 e se chama de **Wiechert-Lehman**. Está situada a uns 5.000 Km de profundidade e separa o núcleo externo (líquido) do interno (sólido).

Estas tres discontinuidades sísmicas nos ofrecen un modelo bastante exacto do interior terrestre formado por unha serie de capas concéntricas e que tes representado na figura da páxina seguinte.



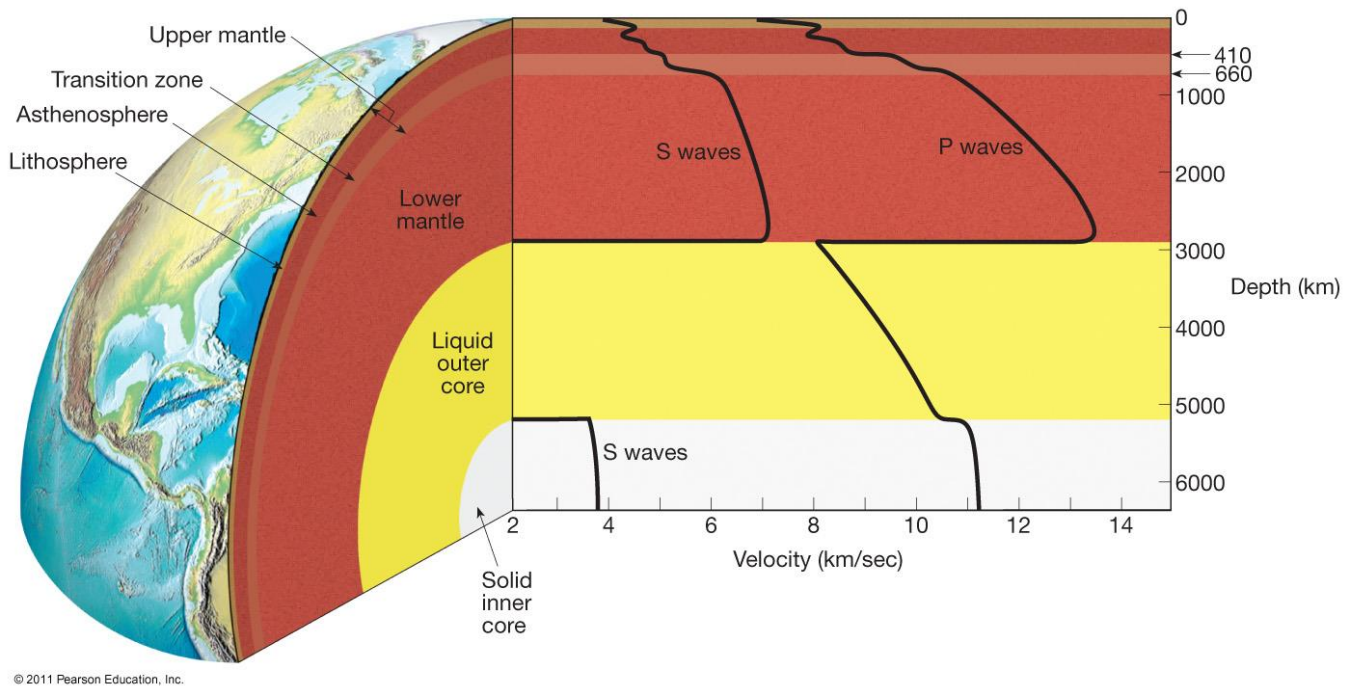
3.3-A GRÁFICA DA VELOCIDADE DAS ONDAS E A SÚA INTERPRETACIÓN

A mellora nos métodos de rexistro permitiu elaborar gráficas onde se pode ver a variación da velocidade das ondas coa profundidade. Da interpretación destas gráficas obtense o modelo actual da estrutura da Terra. Como podes ver no debuxo a Terra se asemella a unha cebola formada por unha serie de capas concéntricas. Estas capas se poden clasificar segundo dous criterios, que dan lugar a dous modelos distintos da estrutura da Terra. Un criterio se basea na composición das capas (tipo de material) e da lugar ó **modelo xeoquímico**, mentras que o outro se basea nas propiedades físicas dando lugar ó **modelo xeodinámico**. Este dobre modelo foi o que estudiache en cursos anteriores e en xeral se pode considerar aceptable. Na páxina seguinte tes unha gráfica da variación da velocidade das ondas coa profundidade de onde se extrae o modelo do interior terrestre que comentamos a continuación.

Podes facer o exercicio 2 onde tes unha gráfica dun planeta imaxinario que che pode axudar na interpretación deste tipo de datos.

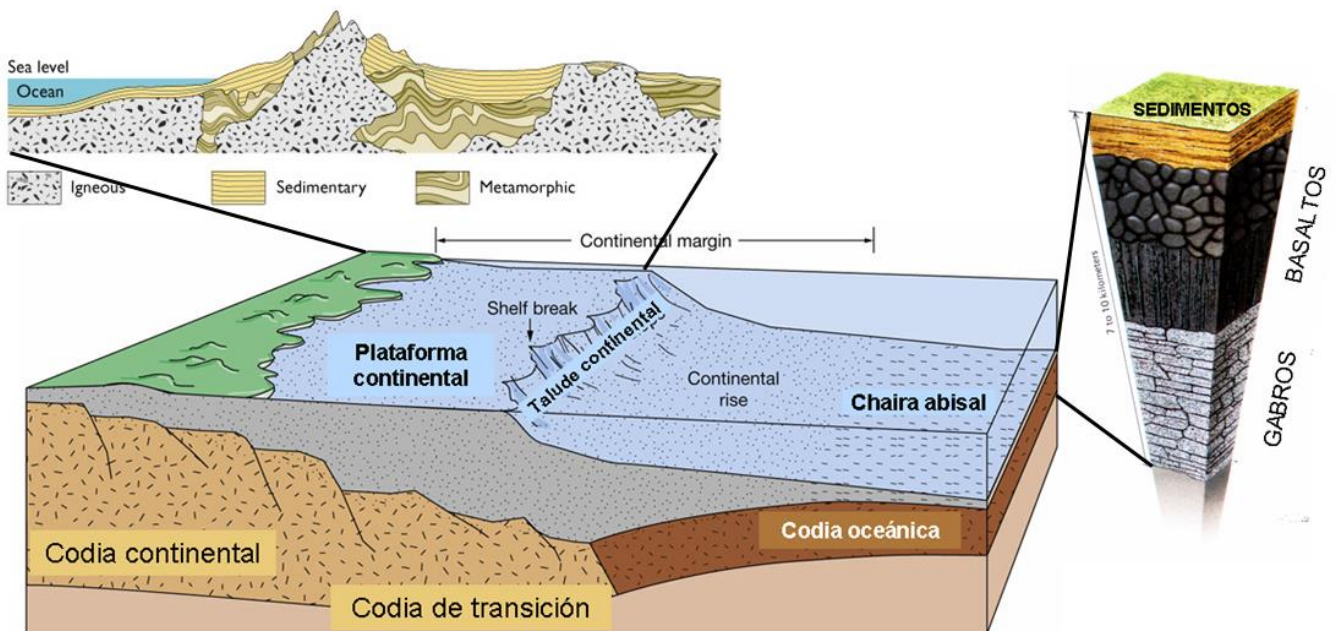
Se observas a gráfica verás que a variación das ondas acontece de dúas maneiras diferentes: brusca e gradual. As variacións bruscas se corresponden cas discontinuidades mentras que as graduais son debidas a variacións progresivas nas condicións,

por exemplo un incremento da profundidade provoca un incremento da presión que causa un aumento da rixidez do material e polo tanto, a velocidade das ondas.



A codia ou cortiza

É unha capa complexa, en parte por que é a mellor coñecida (a ela teñen acceso os métodos directos). Existen dous tipos principais: oceánica e continental, existindo un terceiro tipo: a de transición, que aparece en zonas de contacto entre as dúas anteriores e que é simplemente unha codia continental adelgazada (figura inferior)



A codia oceánica

Ten un grosor entre 6-12 km e unha densidade media de 3 g/cm^3 . Ten unha estrutura máis simple e é máis recente ca continental (antigüidade máxima en torno a 180 m.a. un 4% da historia da terra). Está composta principalmente por dous tipos de rochas ígneas: basaltos e gabros. A capa máis superficial está formada por sedimentos, debaixo dela se sitúa unha capa de basaltos e a continuación a de gabros. Os basaltos máis superficiais son **lavas almofadadas** provocadas por erupcións submariñas.

A codia continental

É máis grossa, complexa e antiga ca oceánica. Ten un grosor medio entre 25-70 Km e unha densidade media de $2,7 \text{ g/cm}^3$. As idades máis antigas rexistradas para este tipo de codia son de 4.000 m.a (case a antigüidade total da terra).

Está constituída por unha mestura de rochas ígneas, sedimentarias e metamórficas intercaladas e a rocha máis abundante neste tipo de codia é o granito. A maioría esta emerxida, pero unha parte esta cuberta polo oceano (plataformas continentais).

O manto

É a capa máis voluminosa da Terra (70 % do seu volume) e está comprendido entre as discontinuidades de Moho e Guttenberg. A composición do manto é basicamente de peridotitas (rocha plutónica con moi pouca sílice composta principalmente polo mineral olivino) pero debido ao aumento da presión o olivino recrystaliza noutros minerais. En concreto a unha profundidade de 410 km e a outra de 610 km se producen estes episodios de recrystalización chamados transicións de fases o que delimita un manto superior, zona de transición e manto inferior. No manto superior predomina o olivino mentras que no inferior está recrystalizado nunha forma máis compacta (tipo perovskita). Nas zonas de transición de fases se observan dúas pequenas discontinuidades.

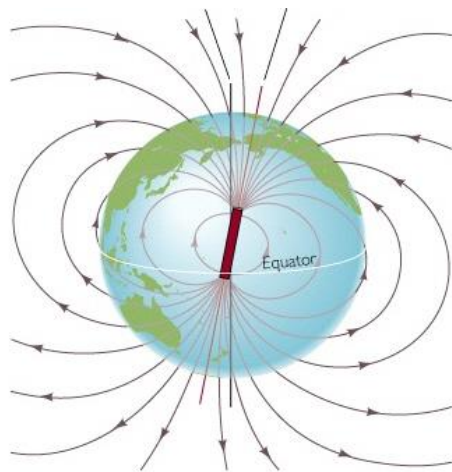
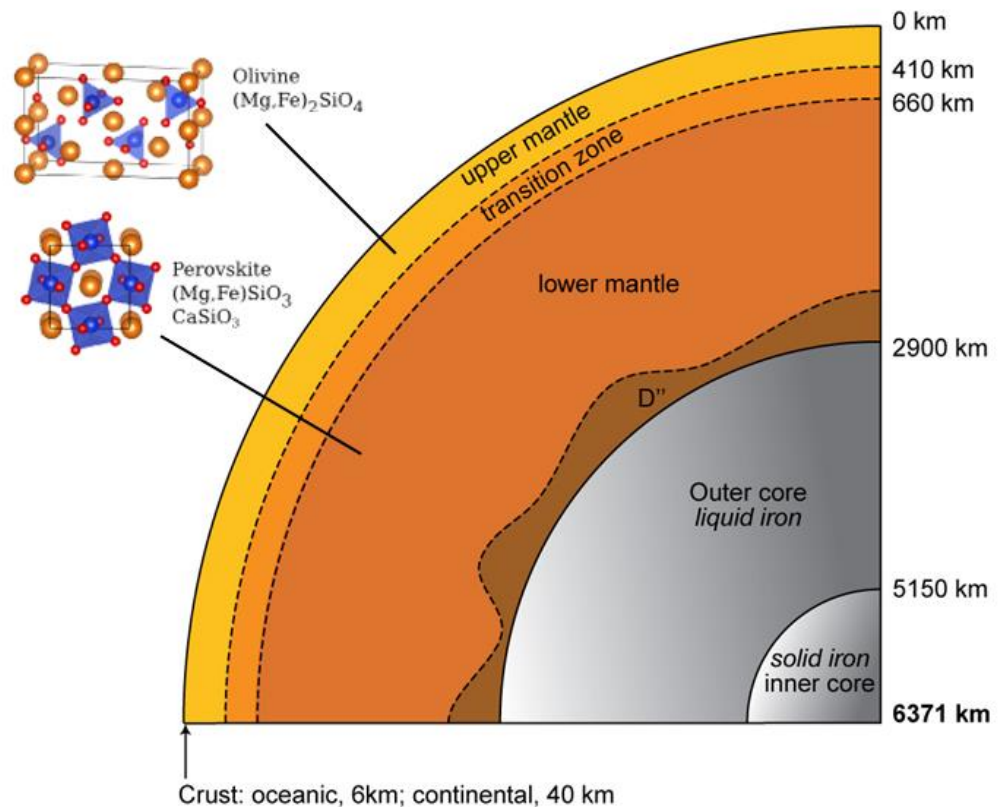
Por outra banda entre os 100 e os 300 km existe unha zona onde a velocidade das ondas é inferior ao que cabería esperar nun manto máis homoxéneo.

Esta zona se coñece como **astenosfera** e é moi plástica debido a que a temperatura nesa zona está moi cerca do punto de fusión o que provoca que una pequena proporción das peridotitas (1-3 %) estea fundida.

A codia e o anaco de manto situado enriba da astenosfera (manto litosférico) forman unha unidade rixida chamada **litosfera** fragmentada en anacos chamados placas litosféricas. O manto que hai por debaixo da astenosfera se lle chama **mesosfera**.

Dado que a temperatura do núcleo é moi superior ca do manto suponse que dentro do manto existen unha serie de movementos convectivos (material quente máis lixeiro sube, e o frío máis denso baixa) aínda non ben aclarados.

Os últimos 200 Km do manto inferior chámanse **capa D** (o nome correcto é D'', se le D dupla) e nela se observa unha lixeira diminución da velocidade das ondas sísmicas. Suponse que certas zonas desta capa estarían en fusión parcial e serían a orixe dos penachos térmicos dos que falaremos no tema seguinte.



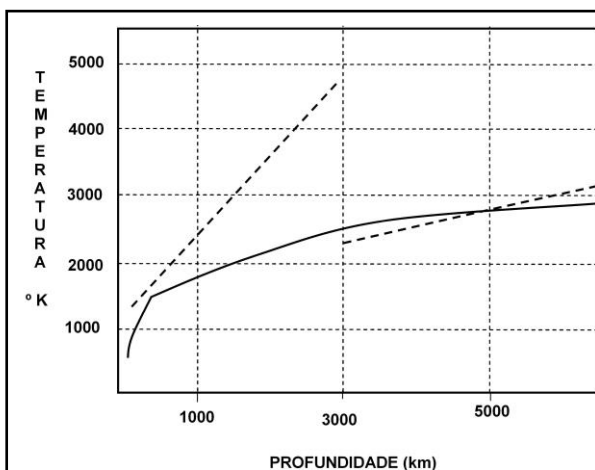
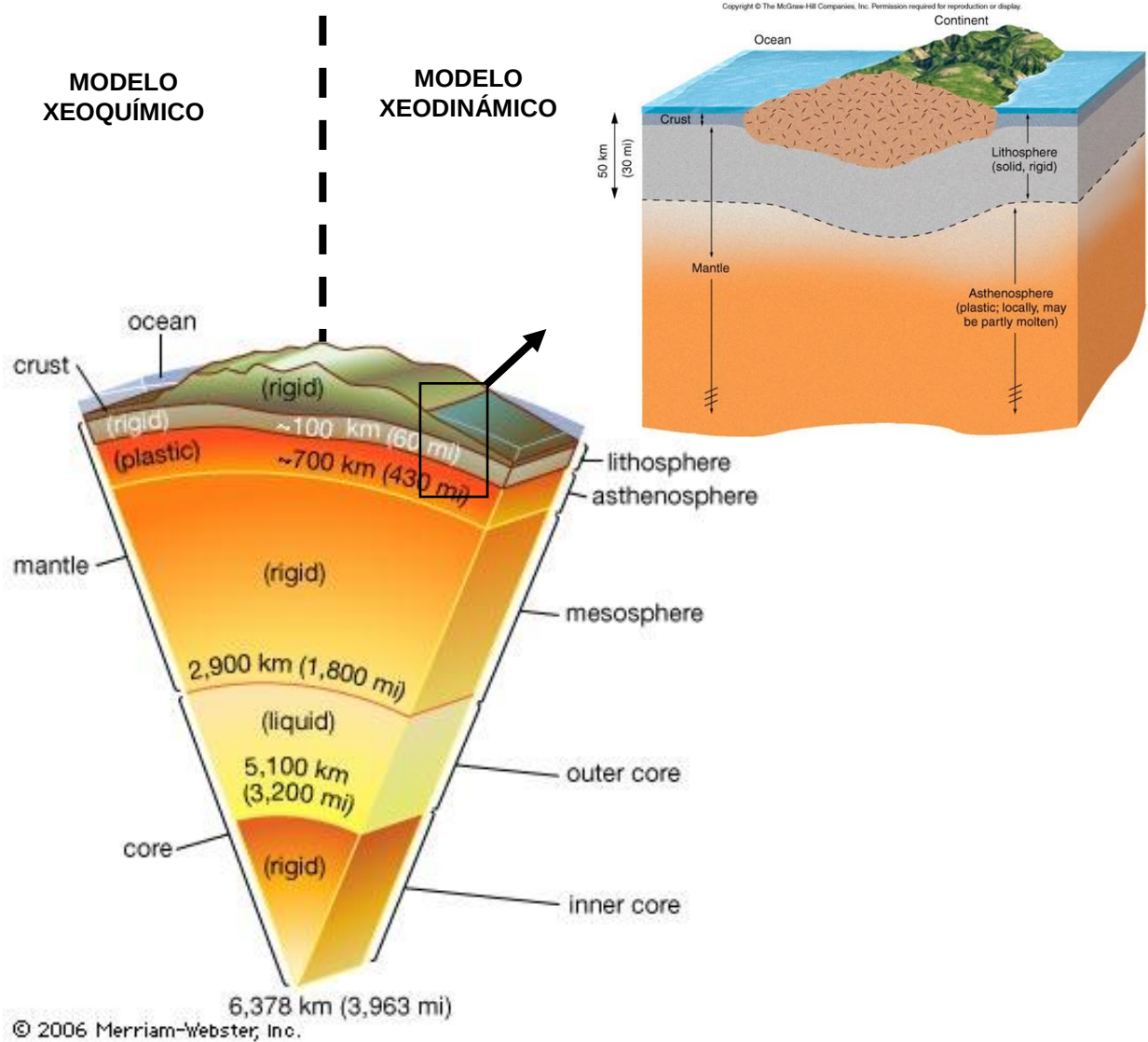
O núcleo ou endosfera

É a capa máis interna da Terra constituída por ferro metálico (máis do 85 %), aleado con níquel (4 %) e outros materiais máis lixeiros como osíxeno e xofre. Está dividido en dúas capas: núcleo externo líquido e interno sólido. Esta transición de núcleo externo a interno sólido se debe a que debido ao aumento de presión ca profundidade tamén aumenta o punto de fusión do ferro.

O campo magnético terrestre

O planeta Terra se comporta como un gran imán que crea un campo magnético ó seu redor chamado **campo magnético terrestre**. A orixe deste campo magnético se debe a cargas eléctricas presentes no núcleo externo líquido que se moven ao redor do núcleo interno sólido. Este campo magnético é moi importante pois nos protexe dos raios cósmicos procedentes do espacio exterior.

Na figura da páxina seguinte tes un esquema da estrutura da Terra según os criterios clásicos. Fíxate especialmente na parte superior para ver ben as diferencias entre codia e litosfera. As dúas son as capas máis superficiais da Terra pero se refiren a criterios distintos.



EXERCICIO

A gráfica representa, en liña continua, a variación da temperatura ca profundidade, mentres que en liña discontinua está representada a variación do punto de fusión dos materiais situados a esas profundidades.

- Que é o punto de fusión dun material? Por que aumenta ca profundidade?
- Aproximadamente a uns 300 km de profundidade a temperatura está moi próxima ó punto de fusión das rochas situadas nesa zona. Que implicación ten isto?
- Por que baixa bruscamente o punto de fusión ós 3000 km?
- Entre os 3000 e os 5000 km o punto de fusión dos materiais alí situados está por debaixo da temperatura nesa zona, mentres que a partir dos 5000 é o revés. Que implicacións ten isto?

3.4- O CALOR INTERNO DA TERRA

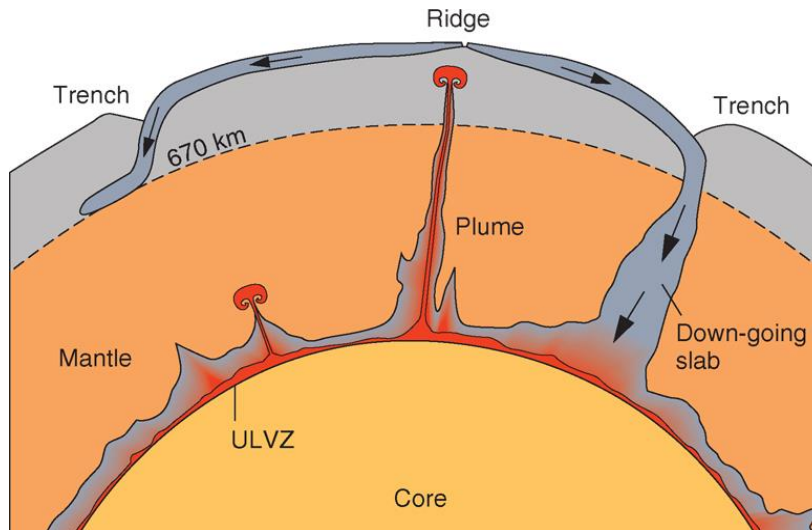
A medida que profundizamos no interior da Terra a temperatura aumenta, a este aumento se lle chama o **gradiente xeotérmico**. A causa deste aumento é o **calor interno da terra** (non confundas calor con temperatura) que á súa vez depende de dous factores:

- A descomposición de isótopos radioactivos presentes no interior do planeta, proceso que libera enerxía.
- O calor de formación: cando se formou a Terra se liberaron grandes cantidades de enerxía que se foi liberando pouco a pouco cara o espazo exterior. Como as rochas son malas condutoras do calor aínda queda atrapado unha parte.

Este calor ou enerxía interna da Terra é a responsable dos procesos internos que estudiaremos no seguinte capítulo.

A TOMOGRAFÍA SÍSMICA E A ESTRUCTURA DO MANTO SUBLITOSFÉRICO

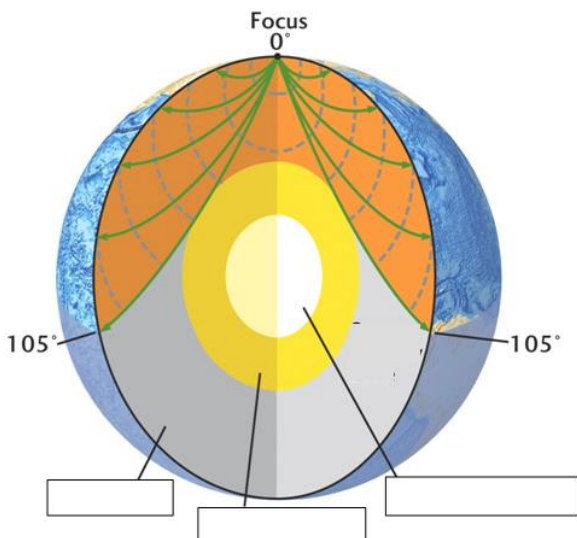
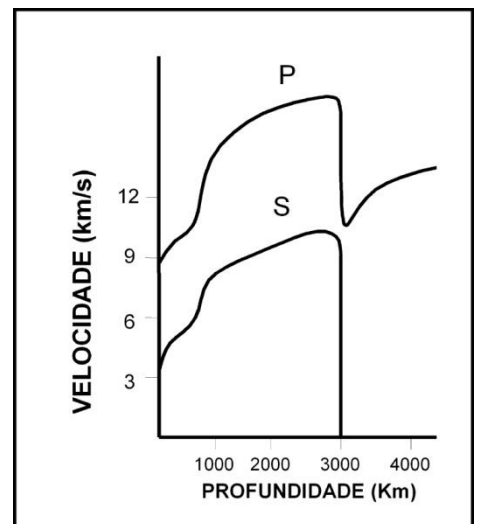
Nos últimos 20 anos se desenvolveron novas técnicas como a tomografía sísmica que nos indican que a estrutura da Terra non é tan simple como a describen os modelos que acabamos de estudar. En concreto a astenosfera parece ser que non é unha capa continua, é dicir o seu grosor varía notablemente dunhas zonas a outras e incluso chega a desaparecer baixo algúns continentes. Ademais o límite entre astenosfera e mesosfera non é claro xa que se pasa gradualmente de unha a outra. Polo que respecta á mesosfera, esta non sería totalmente ríxida xa que existirían zonas máis quentes e plásticas de material que ascende (penachos térmicos) e outras máis frías e ríxidas de material que descende procedente da subdución. Con todo non existe un acordo claro entre os xeólogos sobre estes novos modelos de estrutura da Terra.



EXERCICIOS

1. En 1909 o sismólogo croata Andridja Mohorovicic chegou a unha importante conclusión estudiando os sismogramas de terremotos acontecidos preto das estacións de rexistro. Nas estacións situadas a menos de 300 Km do foco do sismo recibíase un primeiro tren de ondas P que viaxaban a unha velocidade de uns 6 Km/s. Nas estacións situadas a máis de 300 Km do foco recibíase un primeiro tren de ondas P que viaxaban a unha velocidade próxima os 8 Km/s. e pouco despois aparecía un segundo tren de ondas P que traían unha velocidade de 6 Km/s. Como explicas estes datos?

2. A gráfica adxunta representa a variación da velocidade das ondas sísmicas ca profundidade nun planeta imaxinario.



a) Que son as ondas sísmicas e como nos poden axudar a coñecer a estrutura interna dun planeta?

b) Baseándote na gráfica describe a estrutura interna deste planeta imaxinario.

3. A figura adxunta representa a propagación dun certo tipo de ondas sísmicas polo interior da Terra:

a) Que son as ondas sísmicas? Clasificaas.

b) Que é un seísmo ou terremoto? Explica a diferenza entre foco e epicentro.

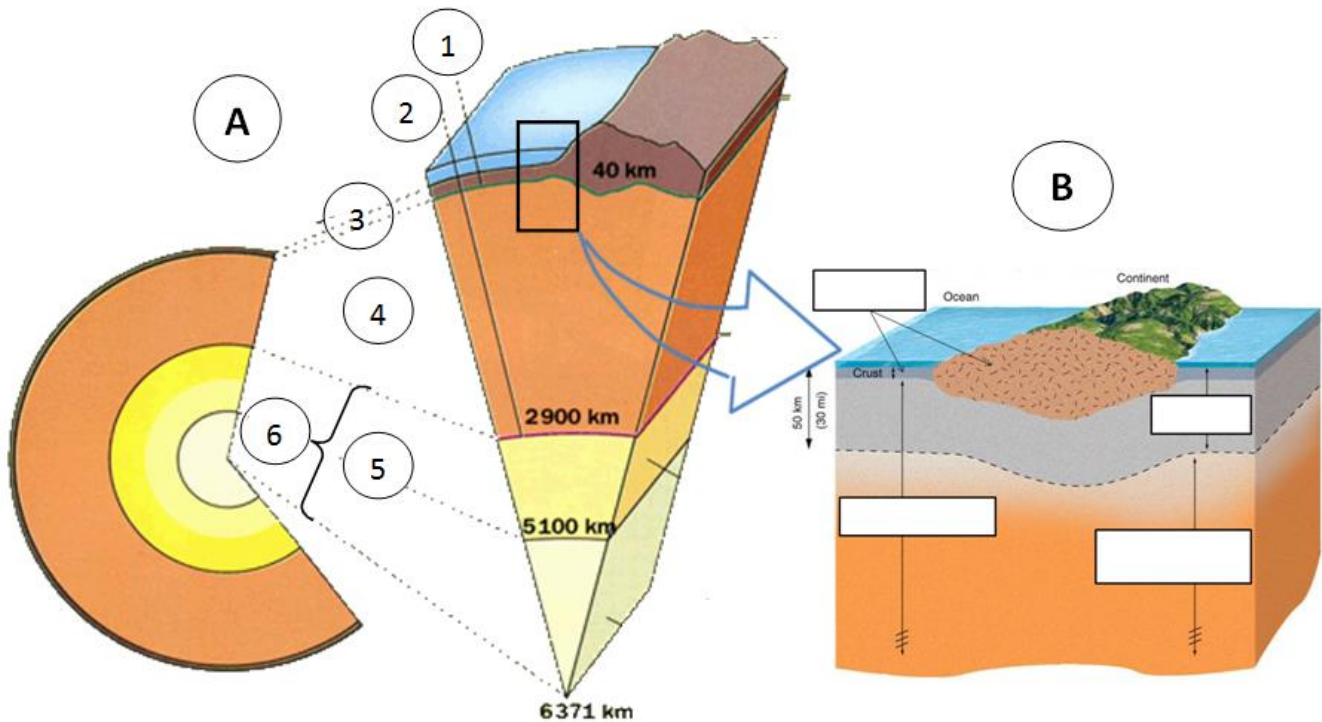
c) Que tipo de ondas están representadas na figura? Xustifica a resposta.

d) Utilizando a mesma figura debuxa, con outra cor, a traxectoria do outro tipo de ondas.

e) Pon nomes ós recadros.

4. Observa a figura inferior e responde ás seguintes preguntas:

- Os números 1, 2 e 5 da figura A representan as tres discontinuidades principais da Terra. Indica o seu nome
- Nomea as capas 3, 4 e 6 e indica as súas características máis salientables. A qué criterio corresponde esta división?
- Pon nomes aos recadros da figura B e indica as súas características máis salientables.



5. Observa as imaxes inferiores e responde ás seguintes preguntas:

- Sinala na gráfica e no esquema a discontinuidade de Mohorovicic.
- Por que a astenosfera é plástica? Como se reflicte isto na velocidade das ondas? Sinala como sería esta gráfica de non existir a astenosfera.
- Que son as transicións de fases no manto e a que se deben?
- En base a súa composición xustifica por que a codia continental é menos densa que a oceánica.
- Por que non hai unha discontinuidade sísmica entre a litosfera e a astenosfera e si a hai entre núcleo externo e interno?
- Cal é rocha máis abundante no manto e cál é o mineral predominante nela?

