

# **1- FIXISTAS VS MOBILISTAS**

## **1.1- As hipóteses fixistas:**

Ao longo da historia existiron múltiples teorías que trataron de explicar a formación dos oróxeos (Cordilleiras en formación ou xa formadas). Todas elas se poden clasificar en dous grupos:

- Fixistas: Os oróxeos xurden como consecuencia de movementos verticais (suben ou baixan) de materiais do interior da Terra e os continentes non se desprazan.

- Mobilistas (Movilistas en castelán): Os continentes desprázanse horizontalmente (cara os lados) e como consecuencia, ao colidir os uns cos outros e ao pregar os sedimentos dos fondos mariños, xeran os oróxeos.

As principais teorías fixistas que existiron foron:

- **Hipótese da contracción da Terra**: Dende a súa formación a Terra está perdendo calor. Todo corpo que perde calor perde volume e isto sería o que lle sucedería á Terra. Ao perder volume, na súa superficie aparecerían engurras, os oróxeos.

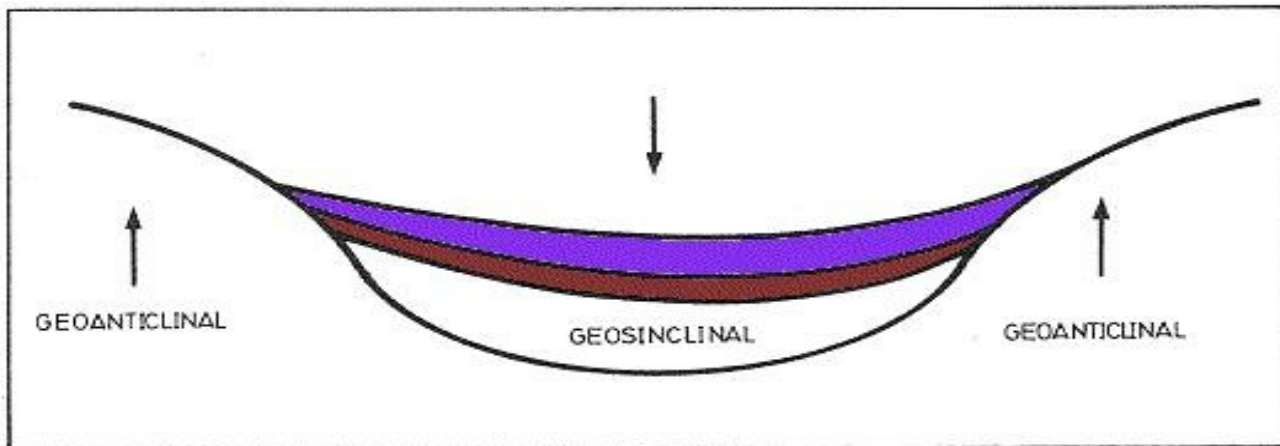
- **Hipótese da dilatación da Terra**: O arrefriamento da Terra faría que certos materiais do interior terrestre se solidificasen. Algúns destes materiais, ao igual que sucede coa auga, ao solidificarse aumentarían o seu volume, xerando deformacións na superficie terrestre.

- **Hipótese da migración radioactiva ou oceanización**: Debido aos procesos de desintegración radioactiva que se dan no interior da terra, certos materiais fundiríanse e ascenderían, incrustándose na codia terrestre. Unha vez alí arrefriaríanse, gañarían densidade e afundiríanse, xerando na superficie terrestre unha cunca que se enchería de auga: un océano. Nos Bordes destas cuncas aparecerían deformacións (oróxeos).

Hoxe en día sábese que o volume da Terra non cambia e que os elementos radioactivos do interior da Terra non teñen tanta enerxía como para producir estes movementos.

A hipótese fixista de maior éxito foi a **hipótese dos xeosinclinais (Cast. Geosinclinales)**, Proposta a principios do século XIX e vixente ata a década dos 60 do século pasado.

Un xeosinclinal é unha cunca sedimentaria paralela á costa na que se produce unha elevada sedimentación e unha alta taxa de subsidencia (debido ao peso dos materiais que se van depositando o terreo afúndese).

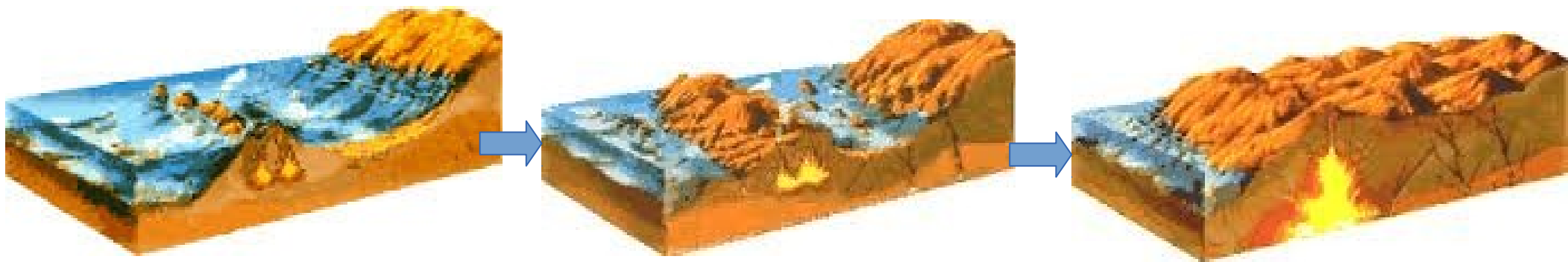


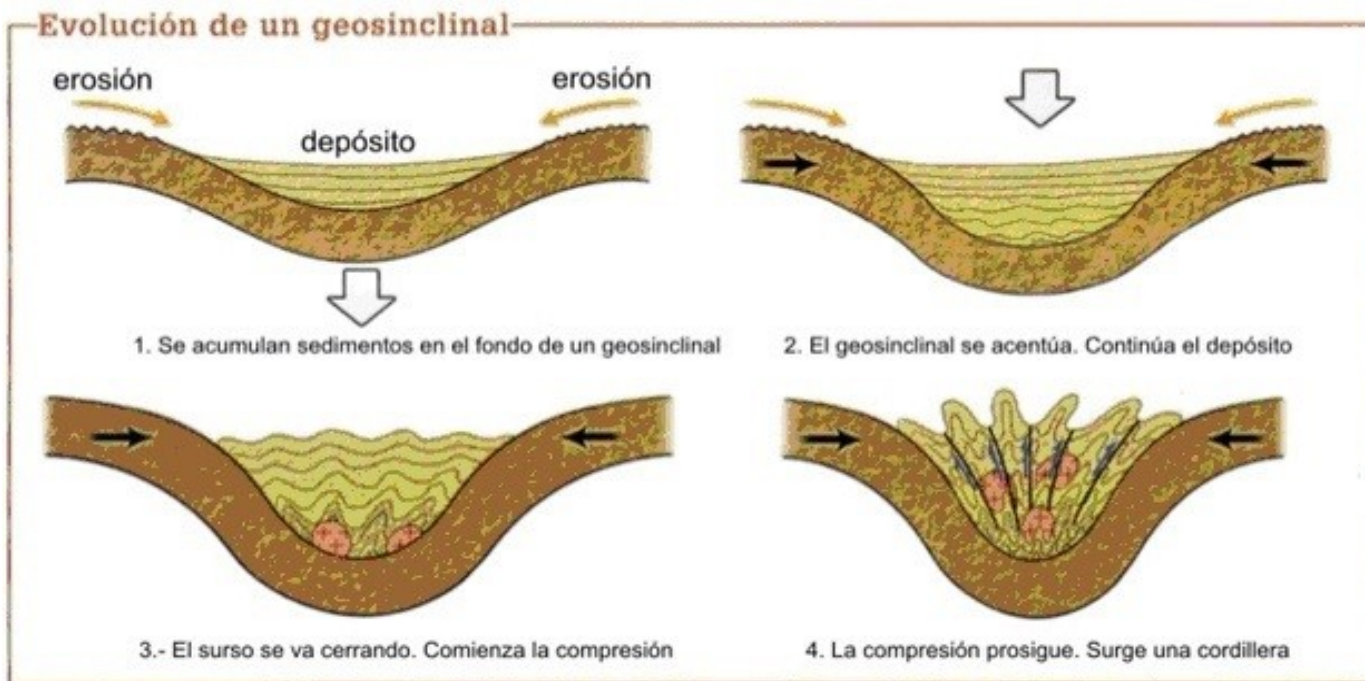
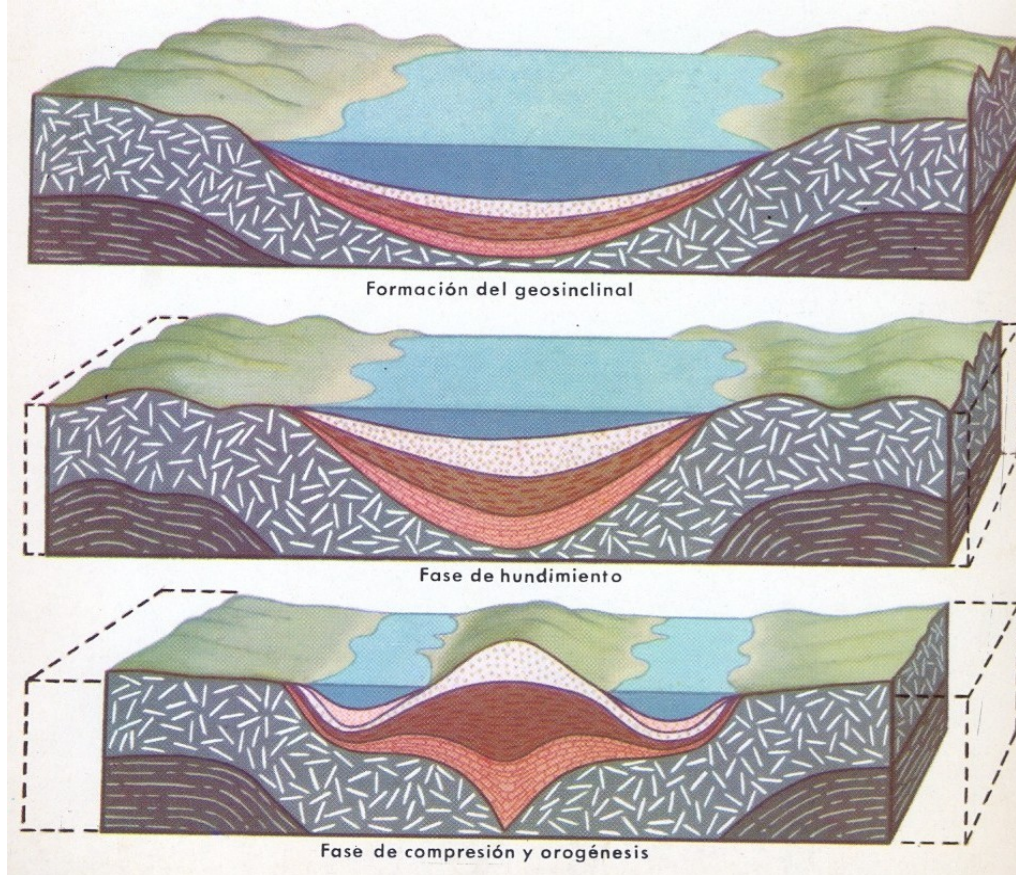
Segundo a teoría dos xeosinclinais, chegaría un momento no que o amoreamento de materiais xeraría unhas presións tan altas que faría que certos materiais se fundisen. Estes materiais fundidos ascenderían e xerarían un arco de illas volcánicas paralelos á costa. Este sería o caso do arquipélago xaponés.

Ademais, existirían unhas forzas laterais que farían que o terreo se pregase.

A ascensión de materiais continuaría, facendo que o arco de illas se elevase cada vez máis, ata que finalmente se uniría á costa, formando unha cordilleira pericontinental (pegada ao continente) coma os Andes.

Esta teoría non explicaba correctamente o vulcanismo que se daba nestas zonas nin de onde procedían esas forzas tanxenciais que producían o pregamento dos materiais. Aínda así, mantívose vixente ata hai pouco máis de 50 anos debido a que era a hipótese que mellor explicaba a formación dos oróxenos.





## 1.2- E se os continentes se móvesen? Os argumentos de Alfred Wegener:

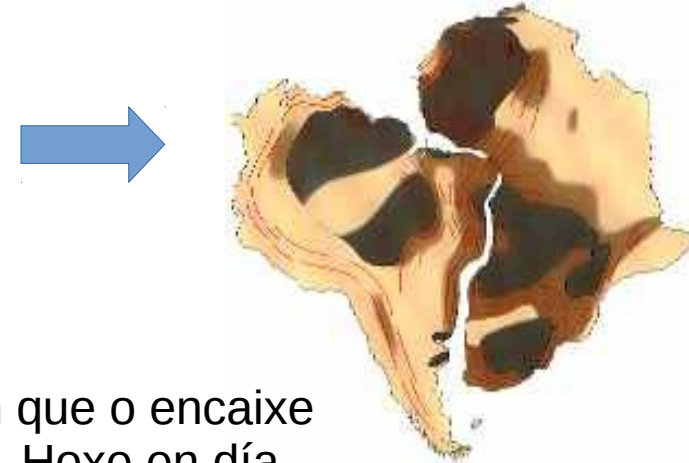
Xa no século XIX algúns científicos comezaron a decatarse de que as costas dalgúns continentes parecían encaixar coma pezas dun crebacabezas, pero aínda ninguén propuxera abertamente unha teoría que falase de continentes en movemento.

En 1910 o estadounidense Frank Taylor publica un libro no que por primeira vez se fala do movemento dos continentes, aínda que a súa teoría non estaba ben argumentada.

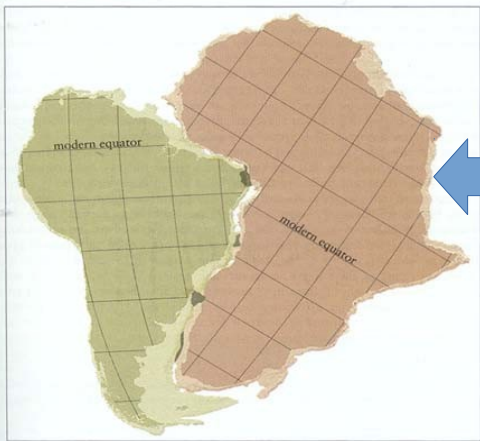
En 1915, o meteorólogo alemán **Alfred Wegener**, probablemente influenciado por Taylor, publica o seu libro "A orixe dos continentes e dos océanos", no cal defende que os continentes movéronse ao longo da historia e que seguen a facelo.

A diferenza de Taylor, Wegener aportou moitos argumentos a favor do movemento dos continentes, argumentos que se poden dividir en 4 tipos:

**- Probas xeográficas:** Wegener, ao igual que moitos autores antes, deuse de conta de que as costas de moitos continentes parecen encaixar como as pezas dun crebacabezas e chegou á conclusión de que no pasado estiveron unidos.



Os detractores da súa teoría dicían que o encaixe entre os continentes non era perfecto. Hoxe en día sabemos que os continentes continúanse nas plataformas continentais (parte do continente somerxido) e tendo en conta isto, o encaixe é mellor. Ademais, hai que ter en conta o efecto da erosión.



**- Probas xeolóxicas:** Wegener decatouse de que a ámbolos dous lados do océano Atlántico, aparecen unha serie de estruturas e formacións xeolóxicas que parecen estar interrompidas polo Atlántico.

Por exemplo, existe unha cordilleira en Bos Aires que se continúa noutra cordilleira en Sudáfrica, ou as cordilleiras escandinavas, que se continúan con montañas e Escocia e Irlanda e do Este dos Estados Unidos (Apalaches).

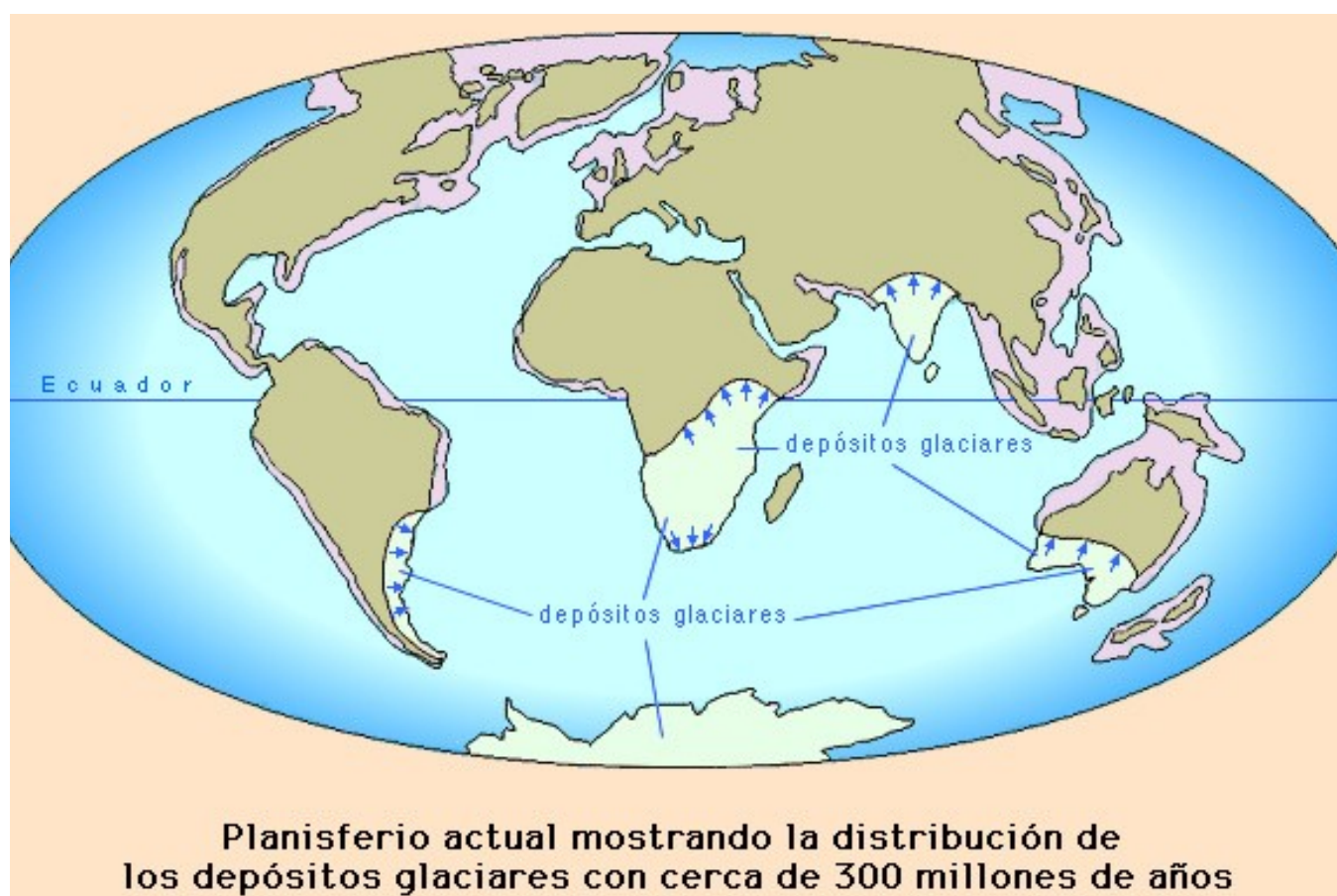
**- Probas paleoclimáticas:** Wegener observou que en terras actualmente situadas en latitudes moi altas (preto dos polos), aparecían restos fósiles típicos de zonas tropicais.



Por exemplo, en Siberia apareceron restos fósiles de árbores que na súa madeira carecen de aneis de crecemento (algo típico de especies arbóreas que crecen nos trópicos) e grandes depósitos de carbón (o carbón orixínase a partir de grandes masas forestais típicas de zonas tropicais).

Tamén atopou sedimentos que non se corresponden co clima actual da zona. Por exemplo, en tódolos continentes do hemisferio sur (India, Sudamérica, Sudáfrica, Madagascar, Australia e Antártida) aparecen tillitas de 300 millóns de anos.

Cando se produce unha glaciación, grandes extensións de xeo recobren as superficies continentais. Este xeo desprázase moi lentamente e ao facelo erosiona a superficie continental arrincando pequenos fragmentos de rocha. Cando o xeo chega a unha zona de maior temperatura, fúndese e deposita neses lugares tódolos materiais transportados. As tillitas son sedimentos orixinados deste xeito, polo que se atopamos tillitas nun lugar, estamos a indicar que no pasado, ese lugar estivo sepultado baixo o xeo.



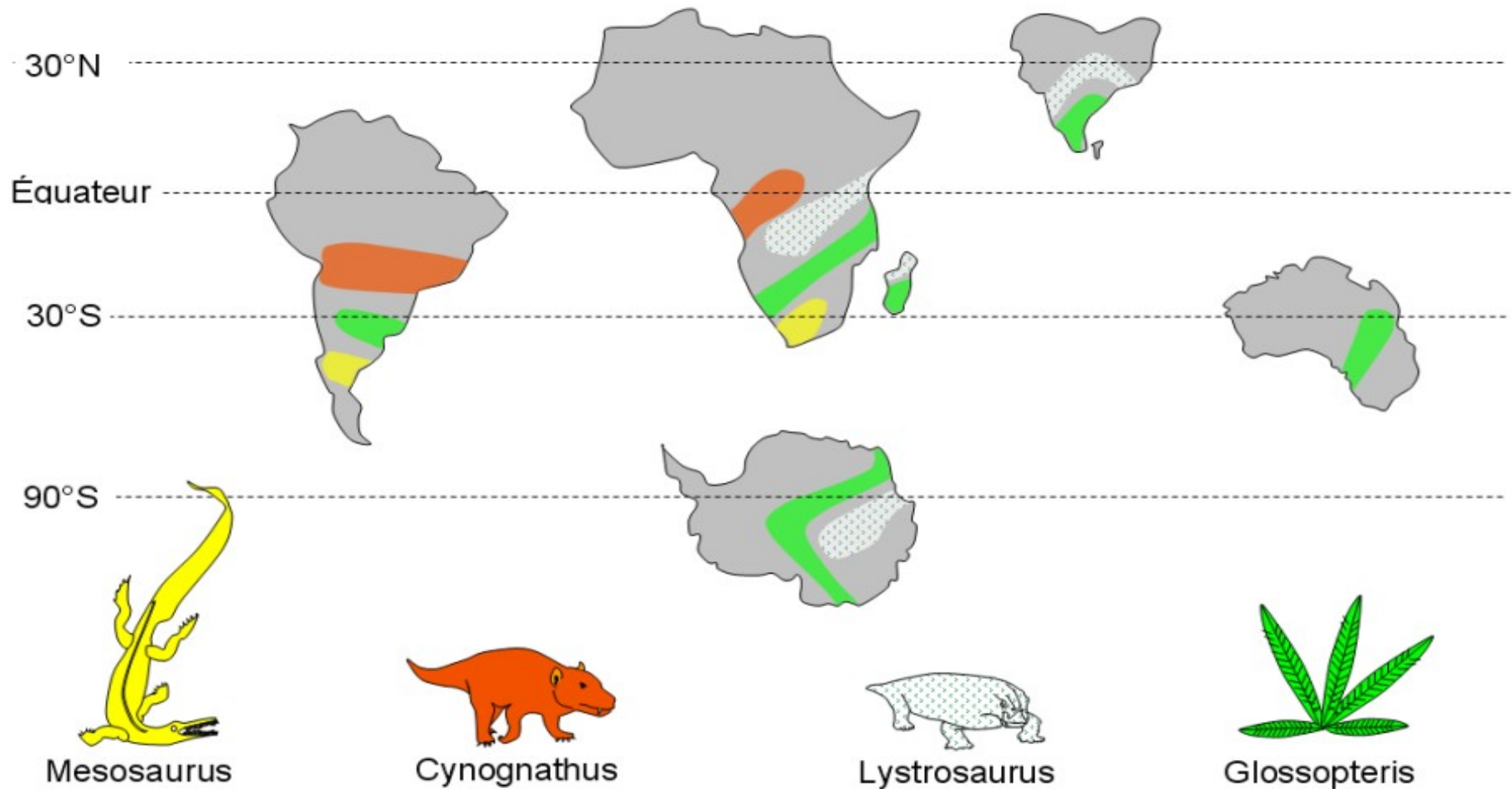
No mapa da esquerda pódese ver a distribución de tillitas de 300 millóns de anos de antigüidade.

Se os continentes tiñan hai 300 millóns de anos a mesma distribución que teñen na actualidade, como é posible que unha glaciación afectase á India (situada por riba do Ecuador) pero non afectase a terras situadas máis ao sur? Por exemplo, en Sudamérica, case toda África e en toda Australia, tamén deberían de aparecer tillitas, pero non é así.

Para Wegener, isto só tiña explicación se hai 300 millóns de anos, estes continentes tiñan outra distribución, e chegou á conclusión de que tiñan que estar todos xuntos preto do polo sur.

**- Probas paleontolóxicas:** Wegener atopou en continentes actualmente separados por miles de quilómetros de océano, restos fósiles dos mesmos organismos. Por exemplo, atopou restos fósiles da planta *Glossopteris*, en Sudamérica, África, Madagascar, India, Australia e a Antártida. Se os continentes tivesen a actual distribución, como ía un vexetal a chegar a África dende Sudamérica ou Australia?

O mesmo sucedía con outros fósiles, coma o mesosauro, un réptil acuático de río cuxos restos foron atopados en Sudamérica e África, o *Cynognathus*, un réptil mamiferoide que tamén viviu en Sudamérica e África ou o *Lystrosaurus*, outro réptil mamiferoide que habitou na Antártida, en África, Madagascar e a India.



Para Wegener, o único xeito de explicar esta distribución de fósiles era que no pasado todos estes continentes estaban unidos, permitindo que estes organismos puidesen moverse libremente dun continente a outro.

Os detractores da teoría de Wegener, dicían que probablemente no pasado existisen brazos de terra que unían estes continentes, permitindo a mobilidade destes organismos. Estes brazos de terra teríanse afundido posteriormente.

**Actividade voluntaria:** Busca información sobre os conceptos SIAL e SIMA.

## 2- A TEORÍA DA DERIVA CONTINENTAL

Wegener, por tódalas evidencias que atopou, estaba convencido de que os continentes se movían. Pero sabía que non sería escoitado pola comunidade científica se non daba unha explicación de como o facían.

A principios do século XX, a comunidade científica defendía que a parte máis superficial da Terra, a codia, estaba dividida en dúas capas: o SIAL e a SIMA.

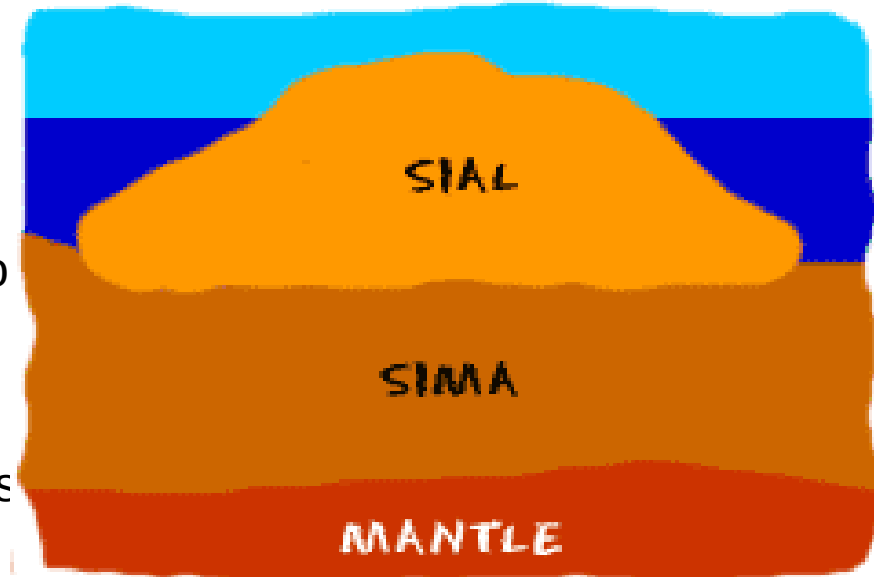
A SIMA estaría conformada por Silicatos de MAgnesio e o SIAL de Silicatos de Aluminio. Debido a esta composición, a SIMA sería máis densa que o SIAL, o cal faría que este último se situase sobre o primeiro. Así, os fondos oceánicos estarían formados por SIMA, e nalgúns lugares, sobre ela, atoparíamos SIAL, que emerxería formando os continentes.

Wegener chegou á conclusión de que os continentes se desprazaban porque o SIAL esvaraba sobre a SIMA como consecuencia da actuación de dúas forzas:

**- Movemento de rotación da Terra e forzas de atracción da Lúa e do Sol:** O movemento de rotación da Terra, faría que o SIAL, por inercia tendese a quedarse atrás, o que faría que se desprazase sobre a SIMA no sentido contrario da rotación terrestre. Isto provocaría que os sedimentos depositados sobre a SIMA, diante do SIAL, se pregasen dando lugar a cordilleiras pericontinentais (Cordilleiras que bordean continentes) coma os Andes, en Sudamérica.

Este movemento do SIAL veríase favorecido polas forzas gravitacionais da Lúa e, en menor medida, do Sol que, ao tirar do SIAL, favorecerían un certo despegue do SIAL, reducindo o rozamento e facilitando o seu desprazamento sobre SIMA.

**- Forzas centrípetas:** O movemento de rotación da Terra, provocaría ademais un movemento dos continentes cara o Ecuador. Isto faría que tendesen a chocar entre eles, dando lugar a cordilleiras intracontinentais (no interior do continente) coma o Himalaia ou os Alpes.





Cálculos feitos na época demostraban que o movemento de rotación da Terra e as forzas de atracción da Lúa e do Sol, eran insuficientes para producir o movemento dos continentes.

A isto hai que unirle que Alfred Wegener era alemán e viviu durante a primeira guerra mundial e na época anterior á segunda guerra mundial. Isto fixo que a súa teoría fose desbotada e marxinada pola meirande parte da comunidade científica de fala inglesa.

### **3- A TRASCENDENCIA DE ALFRED WEGENER**

Alfred Wegener nacera o 1 de novembro de 1880. O día seguinte do seu 50 aniversario (2 de novembro de 1930) Wegener morría conxelado en Grenlandia, tratando de atopar máis probas que demostrasen que os continentes se movían.

Trala súa morte, a teoría da deriva continental foi esquecida durante 30 anos. Hoxe en día sabemos que Wegener tiña razón ao afirmar que os continentes se movían, pero equivocárase no mecanismo a través do cal o facían.

Wegener morreu sen saber da importancia dos seus descubrimentos. Este científico alemán, foi a primeira persoa en establecer unha teoría ben argumentada sobre o movemento dos continentes. Isto obrigou aos científicos contemporáneos a el, a que buscasen datos que demostrasen que estaba equivocado e fixo que a ciencia avanzase, asentando os alicerces da actual teoría da tectónica de placas.

Pode que se Alfred Wegener non tivese existido, hoxe seguísemos pensando que os continentes non se desprazan.



Alfred Wegener (1880-1930)

# **4- OS FONDOS OCEÁNICOS**

## **4.1- Que hai no fondo do mar?**

A pesares do mérito que tivo Alfred Wegener, era difícil que realmente chegase a saber como se movían os continentes, entre outras cousas porque non sabía o que había nos fondos oceánicos.

Na década de 1950, 20 anos despois de que Wegener morrera, comezáronse a investigar os fondos oceánicos. As razóns non eran científicas. Na década dos 50, acabada a segunda guerra mundial, iniciouse a Guerra Fría entre EEUU e a URSS. Ambos países tiñan submarinos nucleares, polo que corrían o risco de sufrir un ataque dende o fondo do océano. Isto fixo que se interesasen por esta zona do planeta, ata ese momento inexplorada e alí, os científicos atopáronse cun montón de sorpresas.

Naquel momento, dado que se cría que os continentes non se movían, pensábase que os océanos levaban existindo dende o principio dos tempos, polo que nos fondos oceánicos, ao longo do tempo, se irían depositando capa tras capa sedimentos dende a orixe da Terra. É dicir, a comunidade científica esperaba atoparse, perfectamente ordenada, sedimento tras sedimento, toda a historia do noso planeta, coma se das páxinas dun libro se tratase.

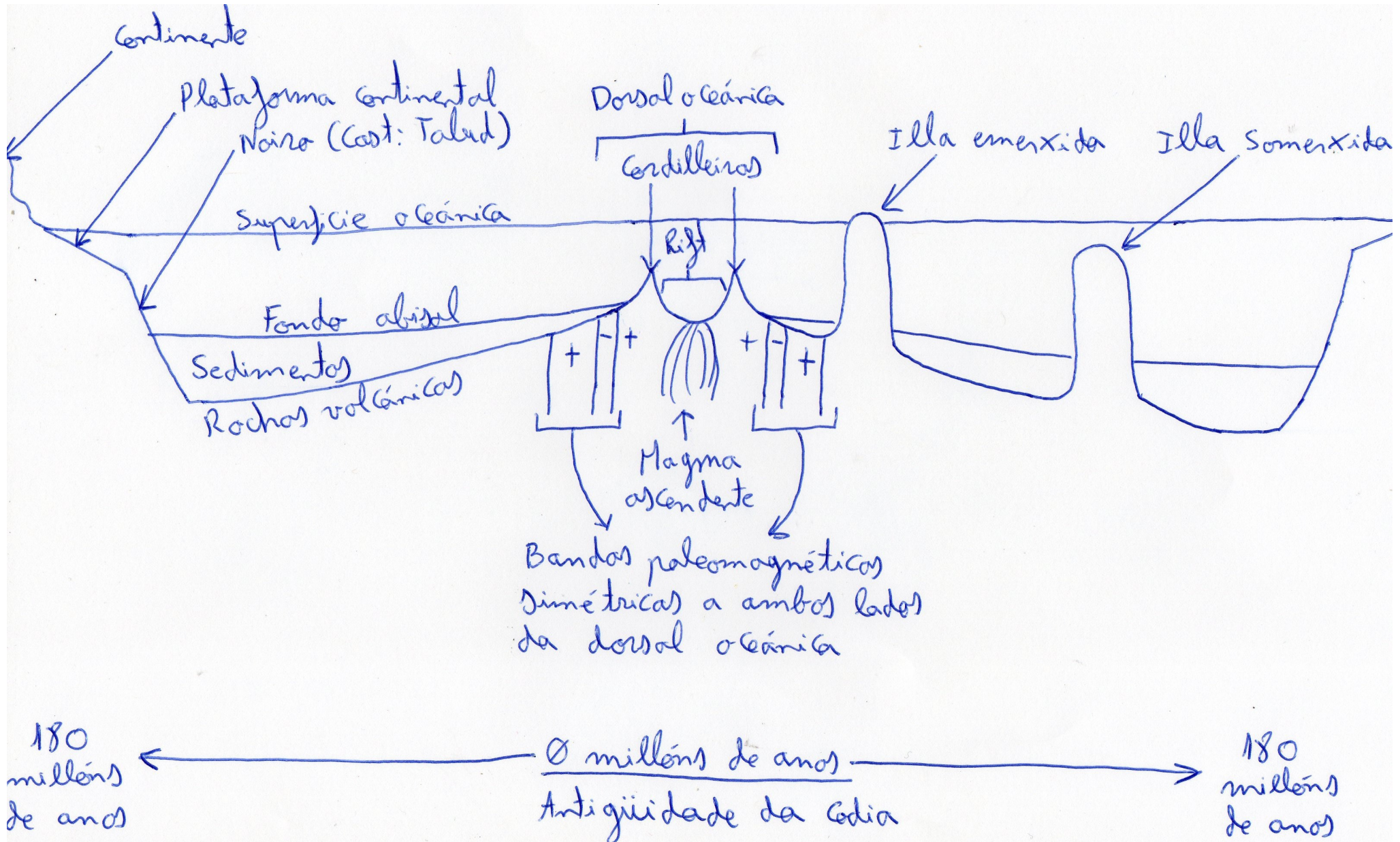
Pero en lugar diso o que atoparon foi que:

- No centro do océano Atlántico existen dúas cordilleiras paralelas de ata 3000 metros de altura separadas por un val, o rift, polo que está a saír magma constantemente. A todo este conxunto chamóuselle **Dorsal Oceánica**.

- A ámbolos dous lados das dorsais oceánicas, existen unhas extensas planicies denominadas, os **Fondos Abisais**, e segundo nos afastamos da dorsal, obsérvase que a profundidade dos mesmos é cada vez maior.

- Sobre os fondos abisais, de cando en vez, aparecen elevacións illadas. Canto máis preto estamos da dorsal, dado que o fondo oceánico é menos profundo, máis sinxelo é que afloren na superficie formando illas. Pola contra, canto máis preto están dos continentes, máis raro é que cheguen á superficie.

- Sobre os fondos abisais atópase unha capa de sedimentos que é máis grossa canto máis preto estamos dos continentes.

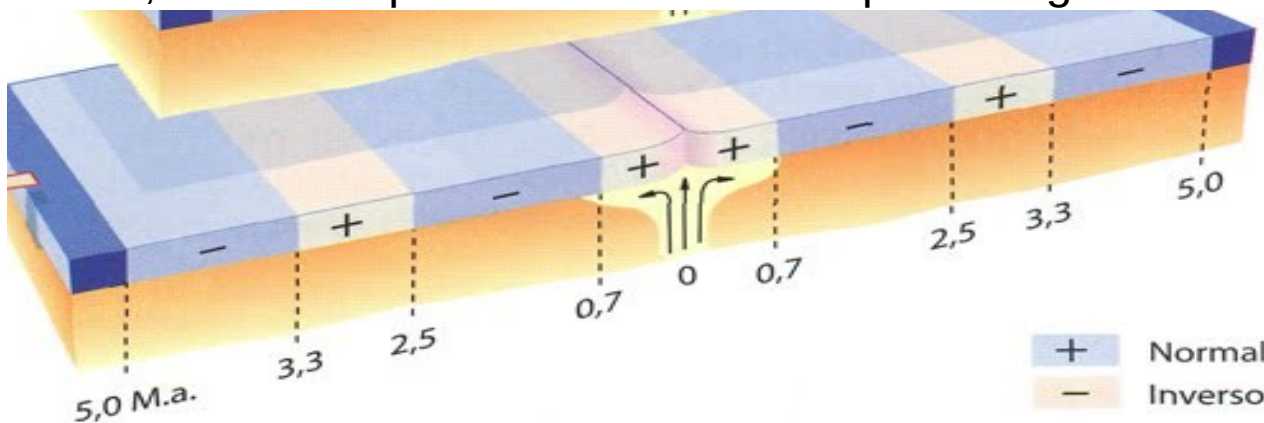


- Nos fondos abisais, baixo esa capa de sedimentos, atopamos basaltos e gabros, todas elas rochas volcánicas.
- Non existen fondos oceánicos de máis de 180 millóns de anos.
- A ámbolos dous lados das dorsais oceánicas atópanse bandas paleomagnéticas simétricas.

O magma son rochas fundidas. Nunha masa de magma, imos atopar elementos magnéticos. Mentres os materiais están fundidos, estes elementos magnéticos poden moverse e orientanse en función do campo magnético terrestre. Unha vez que os materiais se solidifican, estes elementos xa non poderán mudar a súa posición, posto que están incluídos nunha rocha sólida.

Sucede que cada certo tempo, o campo magnético terrestre invértese, é dicir, se collemos un compás (Cast: brújula), onde agora marca o norte, pasaría a marcar o sur e ao contrario. Deste xeito podemos saber a polaridade do campo magnético terrestre en períodos pasados (paleomagnetismo).

Aos dous lados da dorsal oceánica, obsérvase que existen bandas paleomagnéticas simétricas, é dicir, nas inmediacións das dorsais, pegadas a elas, atopamos materiais cuxo paleomagnetismo se corresponde co actual. Se nos afastamos un pouco, a ambos lados da dorsal, máis ou menos á mesma distancia, aparecen materiais cun paleomagnetismo contrario ao actual e se seguimos afastándonos, máis ou menos á mesma distancia, nos dous lados da dorsal, volven a aparecer materiais cun paleomagnetismo igual ao actual.



**- Actividade 2:** En grupos de 4 persoas, revisade toda a información que temos sobre os fondos oceánicos e tratade de sacar algunhas conclusións. Como se formou esta paisaxe nos fondos dos océanos?

## **4.2- A teoría da expansión dos fondos oceánicos:**

En 1962, o xeólogo estadounidense Harry Hess, propuxo unha teoría que explicaba a paisaxe dos fondos oceánicos: **a teoría da expansión dos fondos oceánicos.**

Segundo Hess, nas dorsais oceánicas, o magma que sae polo val do rift, solidificaríase a ámbolos dous lados do mesmo. Isto daría lugar ás cordilleiras que se observan e crearía novo fondo oceánico a ámbolos dous lados das dorsais.

O novo magma que saíse posteriormente pola dorsal, crearía máis fondo oceánico que desprazaría ao preexistente en sentidos opostos, facendo así que o océano cada vez fose máis ancho, é dicir, que se expandise.

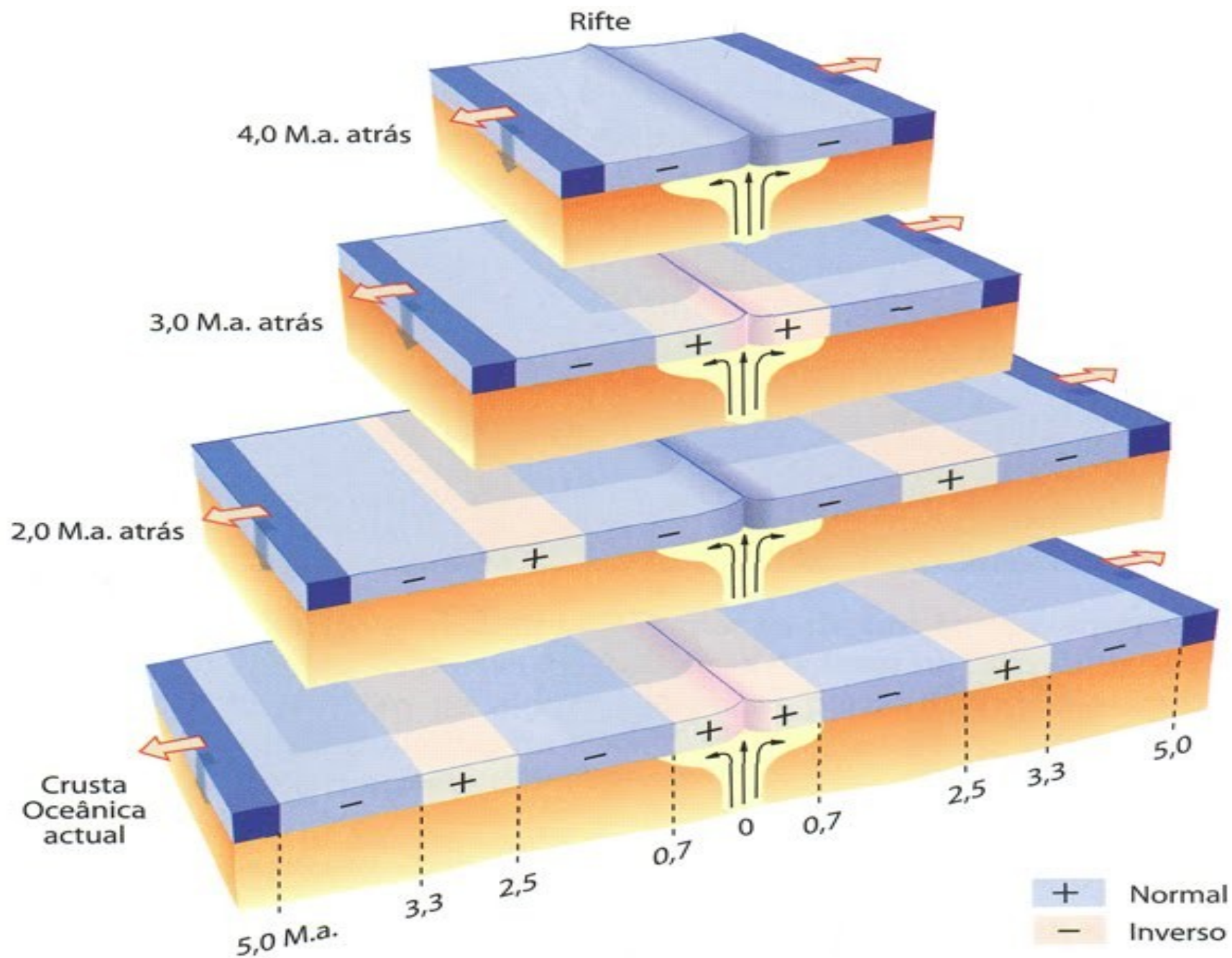
Isto explicaría a formación das bandas paleomagnéticas. O magma procedente do interior terrestre solidificaríase a ámbolos dous lados da dorsal oceánica e os materiais magnéticos que contén situaríanse en función do campo magnético terrestre dese momento. Se posteriormente o campo magnético muda a súa polaridade, tódalas rochas formadas a partires dese momento dende a dorsal oceánica a ámbolos dous lados da dorsal, presentarán os seus elementos magnéticos situados nunha posición inversa.

O novo fondo oceánico creado na dorsal, segundo se vai afastando da mesma, vaise arrefriando, polo que a súa densidade vai aumentando (os materiais fríos son máis densos que os quentes; o aire quente tende a ascender e o frío a afundirse).

Ademais, canto máis lonxe se sitúe o fondo oceánico da dorsal, máis antigo será, polo que máis tempo levará baixo os océanos. A auga situada sobre os fondos oceánicos exerce unha forte presión sobre eles e vainos compactando, polo que canto máis lonxe se atopen os fondos oceánicos das dorsais, máis compactados e, en consecuencia, máis densos serán.

Polo tanto, canto máis lonxe se atopa o fondo oceánico da dorsal, máis denso é, polo que tende a afundirse. Isto explica que os fondos oceánicos sexan cada vez máis profundos segundo nos afastamos da dorsal.

# Formación de bandas paleomagnéticas segundo a teoría da expansión dos fondos oceánicos



Tamén explica o feito de que preto da dorsal oceánica sexa máis fácil atopar illas, pois canto máis lonxe se atopan estas illas das dorsais, máis afundida está a súa base, facendo que chegue un momento no que xa no emerxan na superficie do océano.

No que se refire á composición dos fondos oceánicos, o novo magma que sae polas dorsais, ao arrefriarse e xerar novo fondo oceánico, dá lugar a rochas volcánicas: basaltos e gabros. Unha vez se forma, sobre o fondo oceánico vanse depositando sedimentos. Isto explica que a capa de sedimentos sexa tanto máis grosa canto máis preto estamos dos continentes; estes fondos oceánicos son máis antigos e tiveron máis tempo para que sobre eles se depositasen sedimentos.

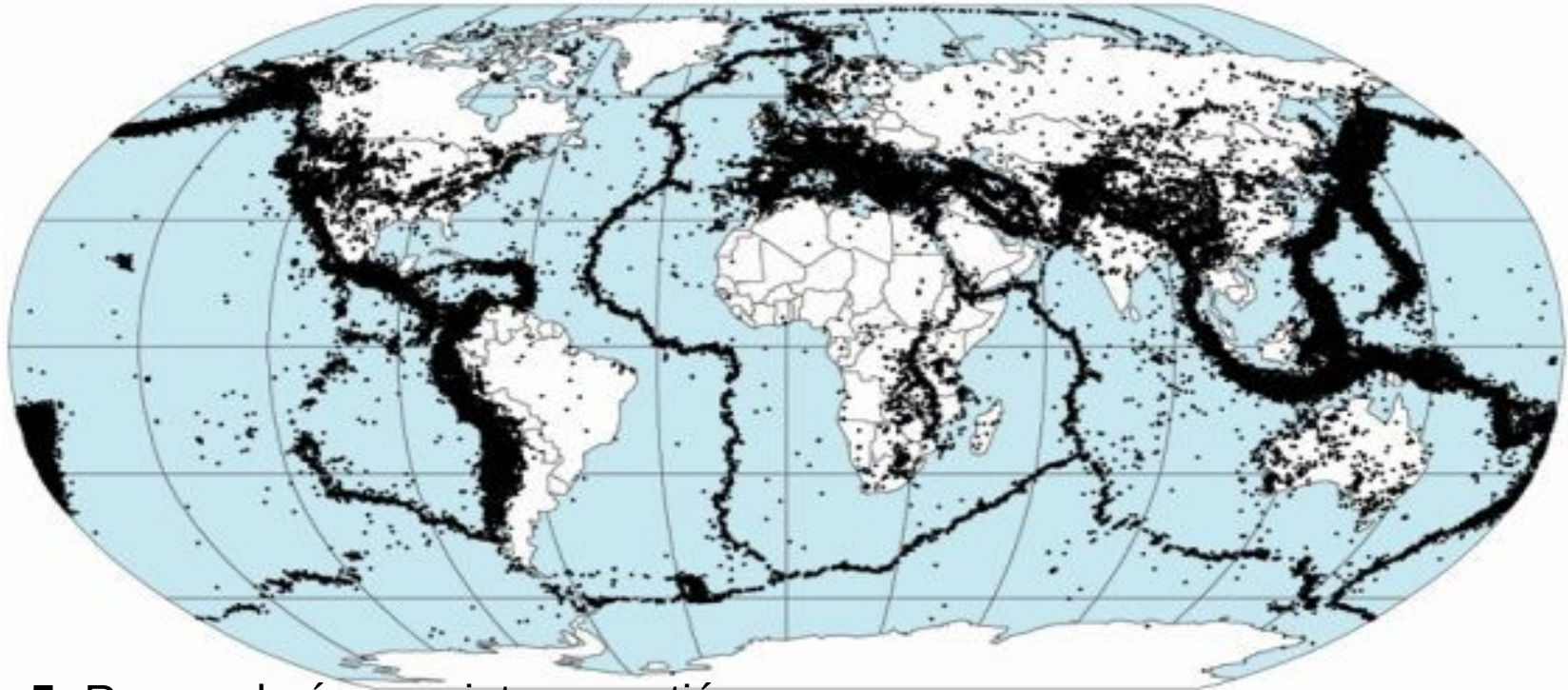
Dado que non existen fondos oceánico de máis de 180 millóns de anos, isto quere dicir que a dorsal atlántica, comezou a crear fondo oceánico hai 180 millóns de anos, é dicir, hai 180 millóns de anos o océano Atlántico non existía, logo, como xa dixera 50 anos atrás Wegener, África e Sudamérica estiveron unidas; os continentes móvense.

Todos estes descubrimentos e a formulación da teoría da expansión dos fondos oceánicos, fixo que a meirande parte da comunidade científica se pasase ao mobilismo. A teoría fixista dos xeosinclinais, proposta a principios do século XIX foi desbotada. Así, na década dos 60, os continentes, oficialmente, pasaron a moverse.

**- Actividade 3:** Segundo a teoría da expansión dos fondos oceánicos de Hess, a partires das dorsais oceánicas estase a crear novo fondo oceánico. Se isto é así, que pasaría co radio do planeta Terra? Está a suceder iso? Entón, para que Hess tivese razón, que máis ten que suceder?

**- Actividade 4:** Busca a localización de 3 sismos importantes que teñan acontecido nos últimos séculos e de 3 volcáns activos ou inactivos.

## Principais zonas de actividade sísmica e volcánica dos últimos séculos



**- Actividade 5:** Responde ás seguintes cuestións:

- Observa este mapa. Os sismos e os volcáns localízanse de forma aleatoria na superficie do planeta?

- As liñas que aparecen polos océanos correspóndense con dorsais oceánicas. Segundo a teoría da expansión dos fondos oceánicos, que está sucedendo nelas? Cres que isto ten algo que ver coa actividade sísmica e volcánica? Por que?

- Fíxate en Sudamérica. Na dorsal que está á súa dereita, no Atlántico, que está a suceder? E no cinto sísmico e volcánico que aparece á esquerda? Que sucede entón co continente Sudamericano e coa parte do océano Atlántico que se sitúa á dereita de Sudamérica?

- Que tipo de relevo nos atopamos na costa oeste de Sudamérica? Por que cres que atopamos ese relevo?

- Que está a suceder nos cintos sísmicos e volcánicos que non se corresponden con dorsais oceánicas?

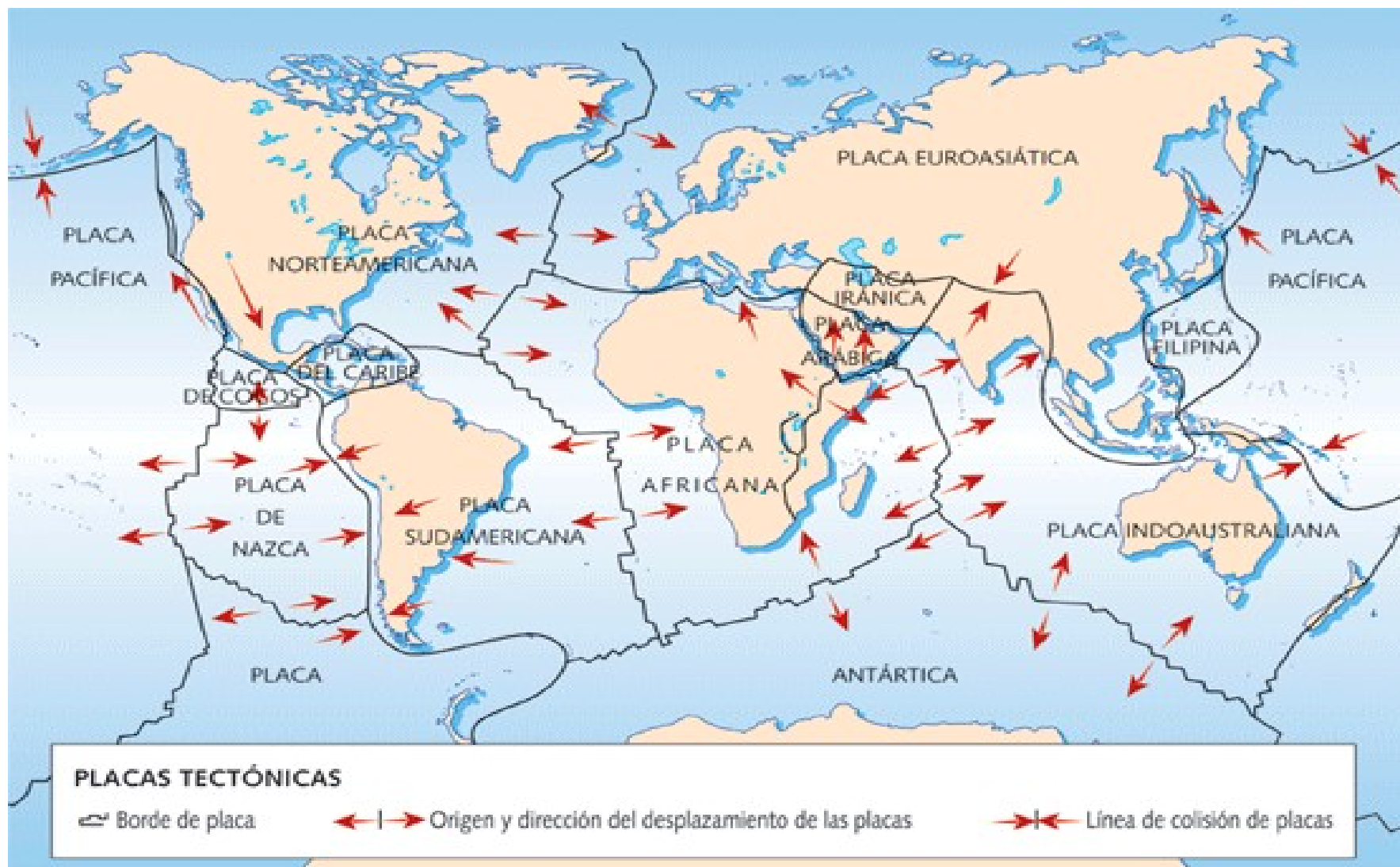
- Poderíase dicir que Sudamérica e a parte do océano Atlántico que se sitúa á súa esquerda, se moven conxuntamente coma se dunha soa peza se tratase?



# 5- AS PLACAS TECTÓNICAS E OS SEUS BORDOS

## 5.1- Un crebacabezas mundial

Os cintos sísmicos e volcánicos dividen a superficie da Terra en placas tectónicas. Estas placas son como pezas dun enorme crebacabezas e móvense dende as dorsais (onde se crea fondo oceánico) ata as fosas oceánicas (onde se destrúe). Ao facelo, desprazan consigo os continentes e nos seus bordos dan lugar a actividade sísmica e volcánica, o cal explica que os sismos e os volcáns non se sitúen na superficie do planeta de forma aleatoria.



Na actualidade existen placas oceánicas (só conteñen codia continental) e mixtas (con codia continental e oceánica), pero no pasado deberon de existir tamén placas continentais (só con codia continental) e no futuro volverán a existir.

As principais placas tectónicas son (Ver mapa):

- Oceánicas: Pacífica, Filipina, de Cocos e Nazca.
- Mixtas: Norteamericana, Sudamericana, Antártica, Africana, Eurasiática e Indoaustraliana.

Como consecuencia dos seus movementos, as placas tectónicas interaccionan nos seus bordos, chocando, separándose ou esvarando lateralmente, dando lugar así a distintos tipos de bordos de placas tectónicas nos que se formarán distintos tipos de oróxenos:

- **Bordos diverxentes ou construtivos:** Chámanse así porque neles as placas sepáranse (diverxen) como consecuencia de que se crea nova codia terrestre (construtivos).

Correspóndense coas dorsais oceánicas que xa vimos no apartado 4.

- **Bordos converxentes ou destrutivos:** Chámanse así porque neles as placas coliden (converxen) de tal xeito que se destrúe codia terrestre (destrutivos).

- **Bordos pasivos:** As placas nin se separan nin coliden, esvaran lateralmente a unha con respecto da outra.

## **5.2- BORDOS CONVERXENTES OU DESTRUTIVOS**

En función do tipo de placas que colidan divídense en:

- **Bordo continental-oceánica:** Coliden unha placa continental contra unha oceánica.

- **Bordo oceánica-oceánica:** Coliden dúas placas oceánicas.

- **Bordo continental-continental:** Coliden dúas placas continentais.

- **Bordo converxente continental-oceánica:** Cando isto sucede, a placa oceánica introdúcese baixo a continental por ser a máis densa das dúas. É o mesmo que sucede se mesturamos auga e aceite, a auga, ao ser máis densa, sempre vai ir para o fondo. Ademais, a placa continental prégase, dando lugar a unha cordilleira pericontinental (bordeando un continente), do mesmo xeito que se prega un papel cando o facemos chocar cunha moeda.

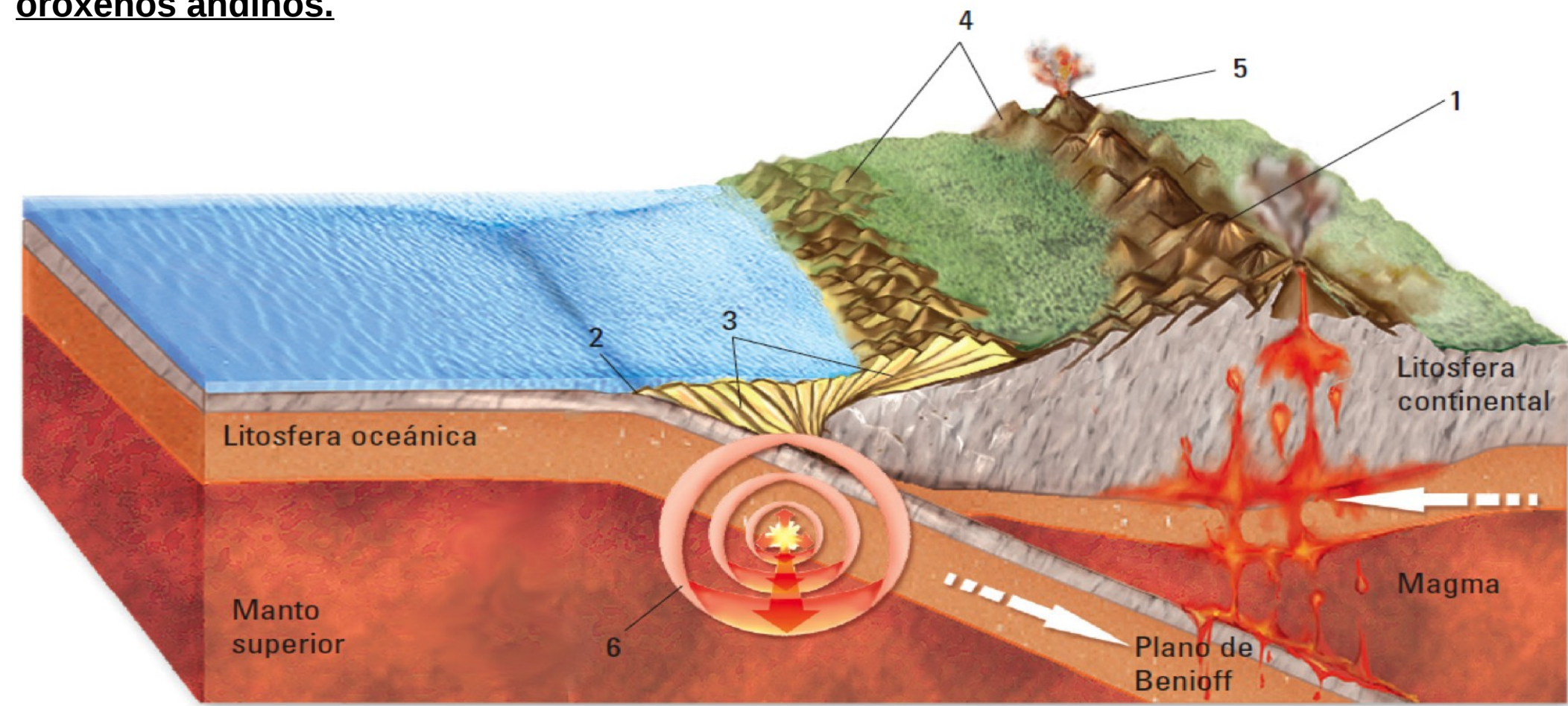
O proceso a través do cal unha das placas se introduce baixo a outra denomínase **subducción** (Subducción en castelán).

A placa oceánica que se introduce baixo a continental pasa a formar parte do manto terrestre, é dicir, desaparece da superficie (codia terrestre destruída).

En fronte do continente aparece así unha depresión denominada **fosa oceánica** (Nº 2 do debuxo) que pode acadar varios miles de metros de profundidade.

Debido ás forzas converxentes que actúan nestas zonas, nelas atoparemos tamén actividade sísmica e volcánica (verémolo con máis detalle na Unidade Didáctica 2: As consecuencias da tectónica de placas).

Este fenómeno está a acontecer na actualidade na costa oeste de Sudamérica e deu lugar á cordilleira dos Andes, razón pola cal a este tipo de oróxeos se lles coñece co nome de **oróxeos andinos**.

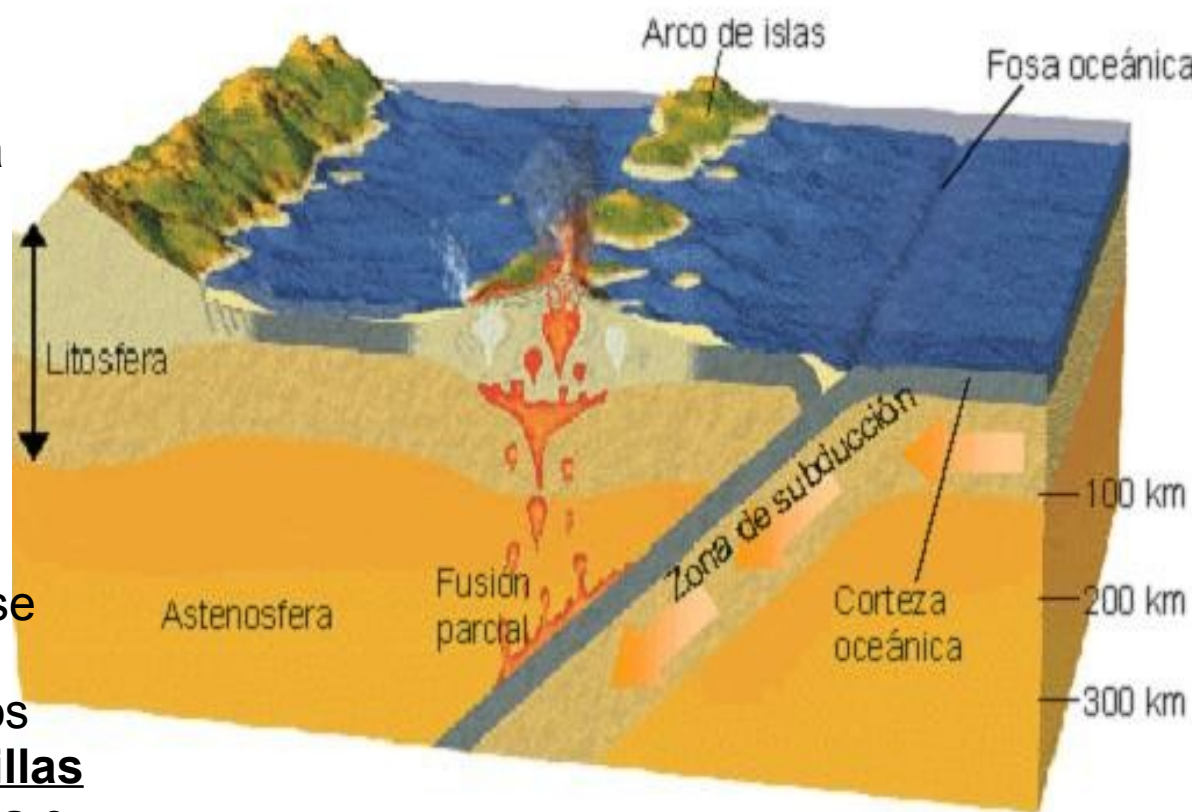


- **Bordo converxente oceánica-oceánica:** Dado que as dúas placas son oceánicas, as dúas son moi densas. Neste caso, a que se introduce baixo a outra é a máis antiga. Por que? Canto máis tempo leve unha placa baixo o océano, máis fría é, pois hai máis tempo que o magma que a orixinou aflorou por unha dorsal, e máis tempo estivo sometida á presión de toda a auga que ten enriba, polo que os seus materiais estarán máis compactados. Ambos factores fan que a súa densidade sexa maior.

O proceso é semellante ao anterior, pero coas seguintes diferencias:

- Dado que a placa que se afunde ten unha densidade maior que no caso anterior, esta afúndese cun ángulo maior, xa que a súa maior densidade fai que se introduza no manto máis rápido. Isto xera unha **fosa oceánica moito máis profunda**. De feito, a fosa oceánica máis profunda que se coñece atópase nun bordo deste tipo. Trátase da Fosa das Marianas, situada no océano Pacífico, fronte ás illas Marianas. Acada unha profundidade de 11 Km.

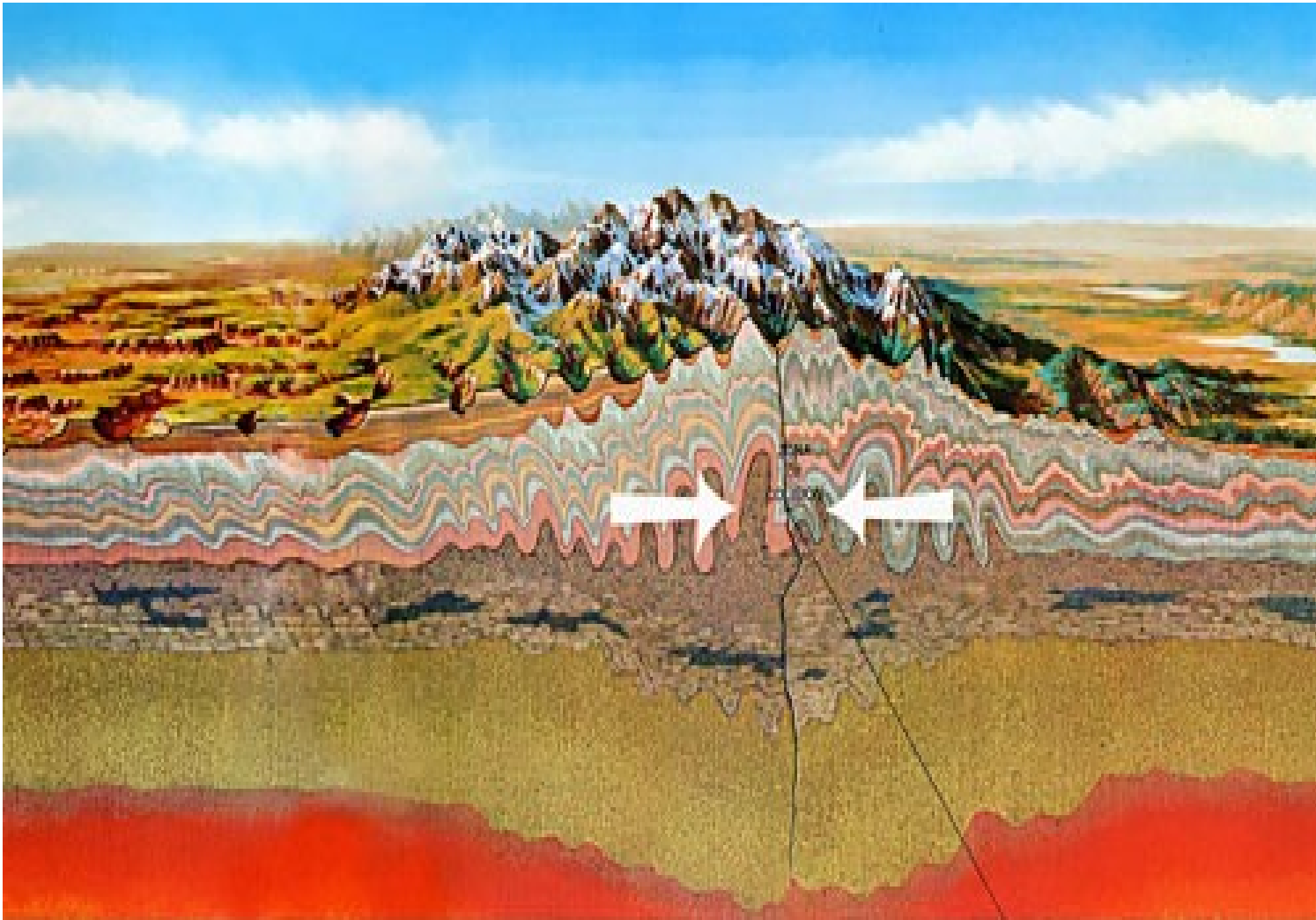
- Como a placa oceánica subducida se introduce cun maior ángulo, as forzas converxentes xeran un pregado menor dos materiais. O resultado final é un **arco de illas paralelo á costa, con actividade sísmica e volcánica**, como sucede nos arquipélagos xaponés, filipino ou aleutiano.



- **Bordo converxente continente-continente:** Cando isto sucede, as dúas placas son moi lixeiras, polo que ningunha das dúas se introduce baixo a outra, **non hai subducción.** En lugar diso as dúas placas se pregan cara a superficie. Este proceso chámase **obducción** (obducción en castelán).

O resultado final é unha **cordilleira intracontinental** (dentro dun continente) moi elevada, como sucede no caso do Himalaia ou dos Alpes, razón pola cal este tipo de oróxenos recibe o nome de **oróxenos alpinos.**

As fortes forzas converxentes que actúan nestas zonas dan lugar a unha intensa actividade sísmica, pero non imos a atopar volcáns.



### 5.3- BORDOS PASIVOS

As placas nin se separan nin coliden, esvaran lateralmente. Debido a isto non hai rozamento, polo que non hai actividade volcánica, pero si hai unha intensa actividade sísmica.

Un exemplo disto é o que sucede na Falla de San Andrés (EEUU):



Na falla de S. Andrés pódense ver as dúas placas interaccionando. A placa pacífica, que inclúe á península de California, móvese cara o norte, mentres que a placa Norteamericana, se move cara o sur.

Chegados a este punto, xa sabemos que a superficie da Terra está dividida en distintas placas tectónicas que se moven debido a que nas dorsais oceánicas se está a crear novo fondo oceánico, mentres que nas fosas oceánicas se destrúe. Como consecuencia deste movemento, nos seus bordos as placas interaccionan, xerando os oróxenos e dando lugar a actividade sísmica e volcánica.

Pero, por que as placas se moven dende as dorsais cara as fosas? Por que polas dorsais oceánicas sae magma? Por que se afunde codia nas fosas oceánicas? A onde vai parar?

Para responder estas preguntas necesitamos saber como é interior da Terra, cousa que Wegener descoñecía por completo e do cal hoxe en día se ten certa idea

## **6- O INTERIOR DO PLANETA**

### **6.1- Como é a Terra por dentro?**

Na actualidade, a comunidade científica non está completamente segura de como é o interior da Terra, de feito existen dous modelos que tratan de explicalo:

- **Modelo composicional:** Fundaméntase no cambio de composición dos materiais coa profundidade.

- **Modelo dinámico:** Fundaméntase no cambio de comportamento dos materiais coa profundidade.

Estes modelos non son antagónicos, de feito complementáanse.

### **6.2- O MODELO COMPOSICIONAL**

Nos bordos das placas tectónicas, os materiais vense sometidos a intensas forzas. Nun principio as rochas van acumulando enerxía, pero chega un momento no que non poden conter máis enerxía e rachan. Nese momento prodúcese un terremoto e os materiais que non racharon, vibran tentando recuperar a posición inicial.

Isto é o que se coñece como **teoría do rebote elástico** e segundo ela, eses materiais que vibran, ao facelo, están liberando toda a enerxía acumulada. Estas vibracións moven ás partículas que se achán ao seu a redor, facendo que estas tamén vibren, xerándose así ondas que se moven polos materiais do mesmo xeito que o fan as ondas na auga dun estanque cando cae unha pedra.



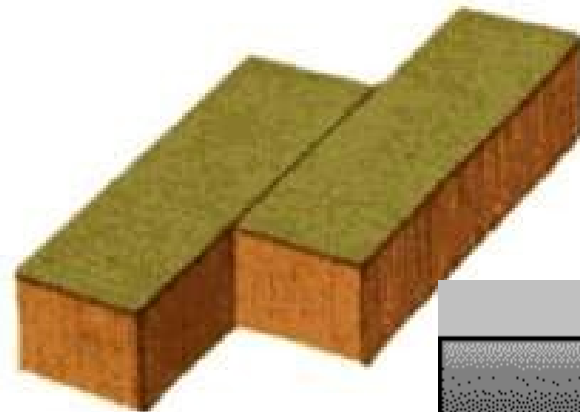
Bloques en reposo



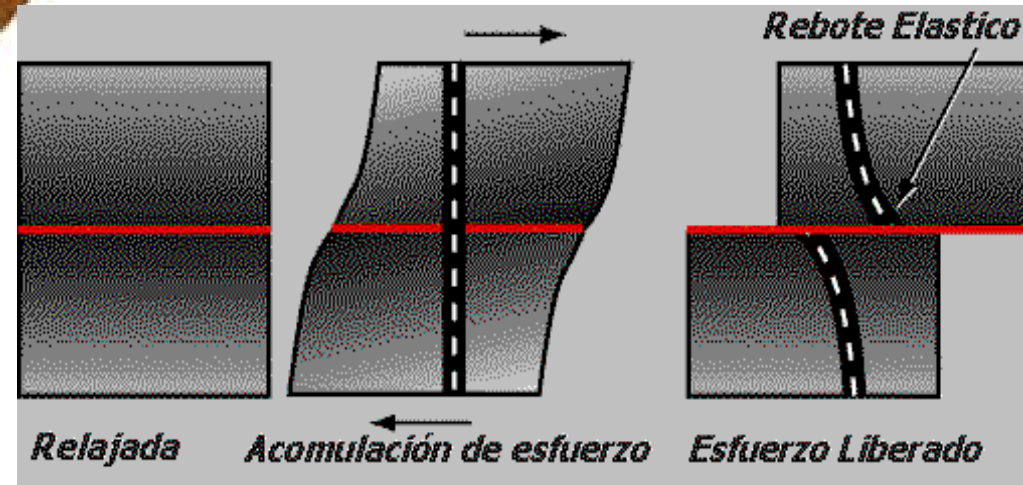
Deformación durante el aumento de la tensión



Momento de la ruptura



Nuevo equilibrio





As ondas sísmicas que se forman durante un terremoto divídense en:

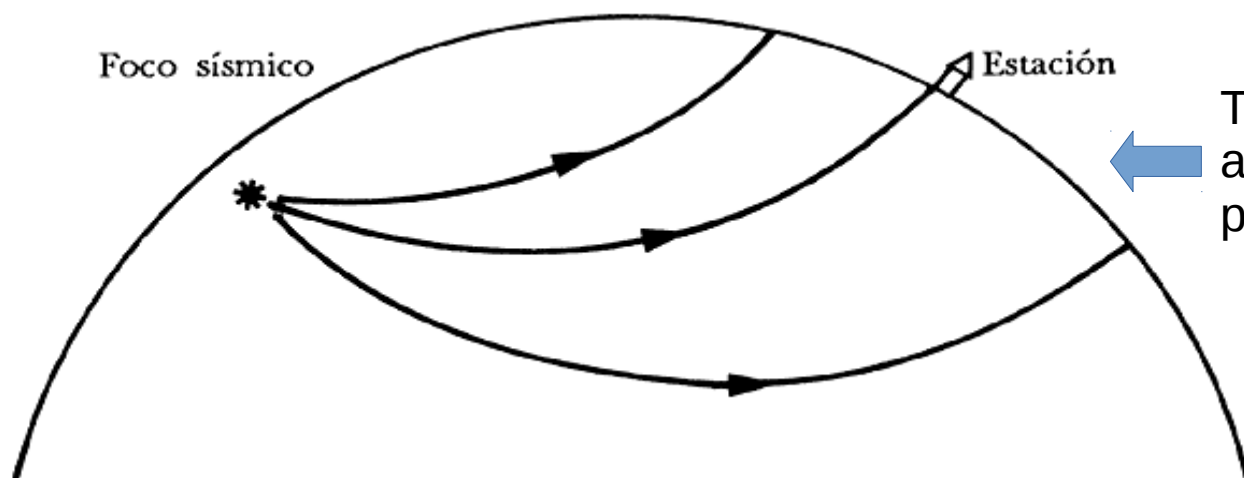
- **Ondas de superficie:** Transmítense pola superficie dos materiais e son as que dan lugar aos danos nas infraestruturas humanas. Carecen de interese para o estudo do interior da Terra.

- **Ondas de corpo:** Transmítense a través dos materiais. Divídense en dous tipos:

+ Ondas P ou primarias: Transmítense a través de materiais sólidos, líquidos e gasosos.

+ Ondas S ou secundarias: Son máis lentas que as anteriores e só se transmiten a través de materiais sólidos.

Se estas ondas se transmiten a velocidade constante, desprázanse en liña recta. De non ser así cúrvanse. Se a velocidade é cada vez maior, cúrvanse cara a superficie, mentres que se é cada vez menor, cúrvanse cara o interior terrestre. Este fenómeno denomínase **refracción**.



Traxectoria das ondas sísmicas cando a súa velocidade se incrementa coa profundidade.



Sabendo que as ondas P e S se propagan a maior velocidade canto menor é a densidade e maior é a plasticidade dos materiais, responde ás seguintes cuestións:

a) Representa graficamente os datos colocando no eixo das ordenadas a velocidade de propagación e no eixo das abscisas a profundidade. Para iso fai dúas gráficas, unha na que a profundidade vaia de 0 a 300 Km e outra na que vaia de 300 a 6300 Km.

b) Segundo aumenta a profundidade no noso planeta, a presión á que se ven sometida os materiais é maior ou menor? Por que?

c) En base á pregunta anterior, que sucederá coa densidade dos materiais segundo aumenta a profundidade?

d) Entre os 70 e 2800 Km de profundidade, a velocidade das ondas P e S vai aumentando de forma progresiva. A que cres que se debe isto?

e) Por que nalgúns puntos a velocidade de propagación cambia bruscamente?

f) Por que chegada unha certa profundidade desaparecen os datos das ondas S?

g) A partires destes datos, constrúe un modelo de capas concéntricas do interior terrestre.

Algunha destas capas é líquida? Por que?

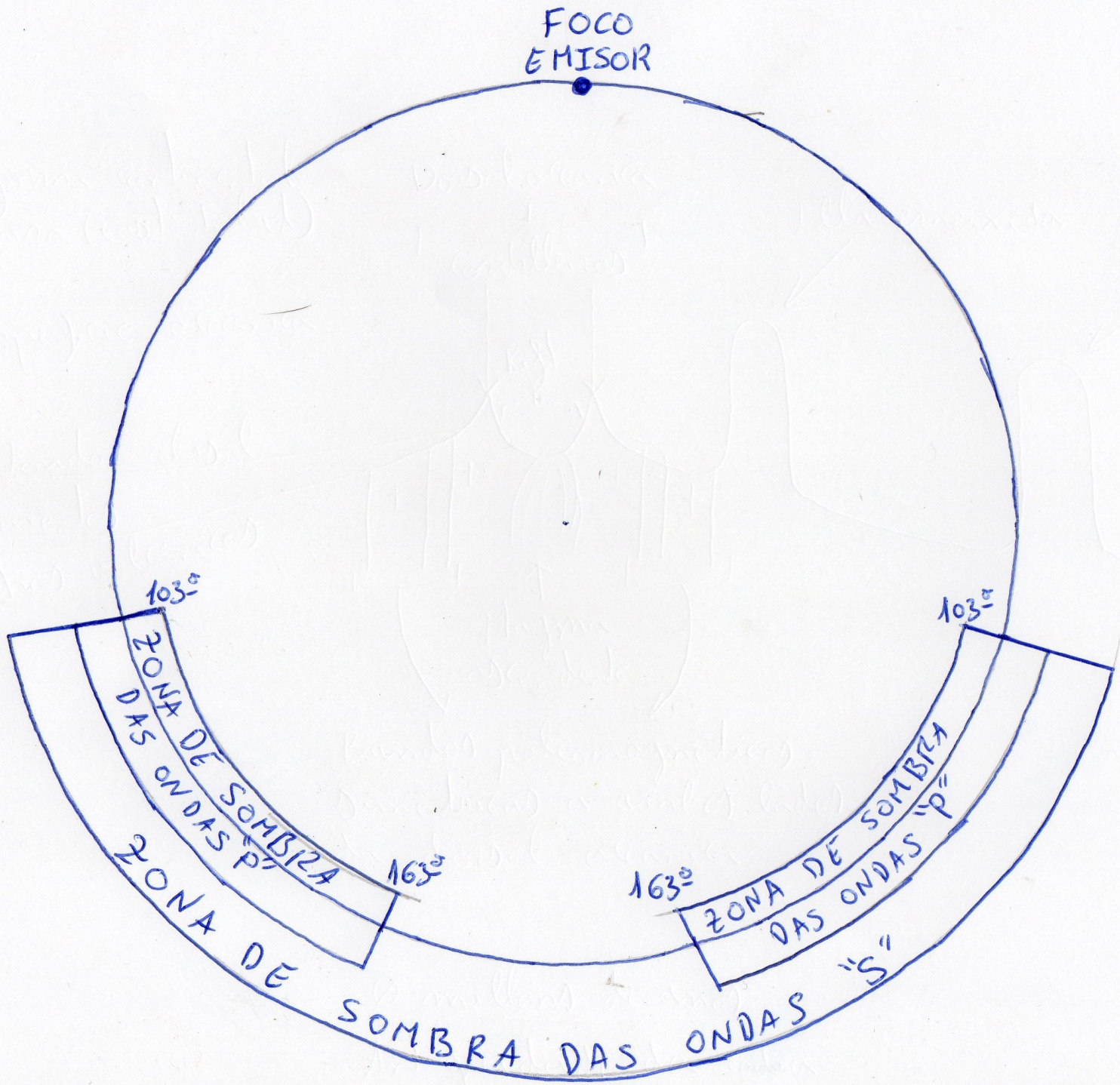
- **Actividade 4:** A principios do século XX, observouse que cando se producía un sismo nun punto da Terra as ondas S e P non eran detectadas por tódalas estacións sísmicas do planeta, é dicir, había zonas de sombra para as ondas S e as ondas P. Observouse ademais que estas zonas de sombra eran diferentes para cada tipo de onda (Ver figura 1: Zonas de sombra das ondas sísmicas). Tendo en conta que cando se incrementa a velocidade de propagación das ondas sísmicas, estas cúrvanse cara a superficie, responde ás seguintes cuestións:

a) Trata de debuxar na figura 1 a propagación das ondas S polo interior da Terra.

b) A que cres que se deben as zonas de sombra das ondas S? Podes debuxar algunha capa no interior da Terra a raíz destes datos? Se é así, di cal é?

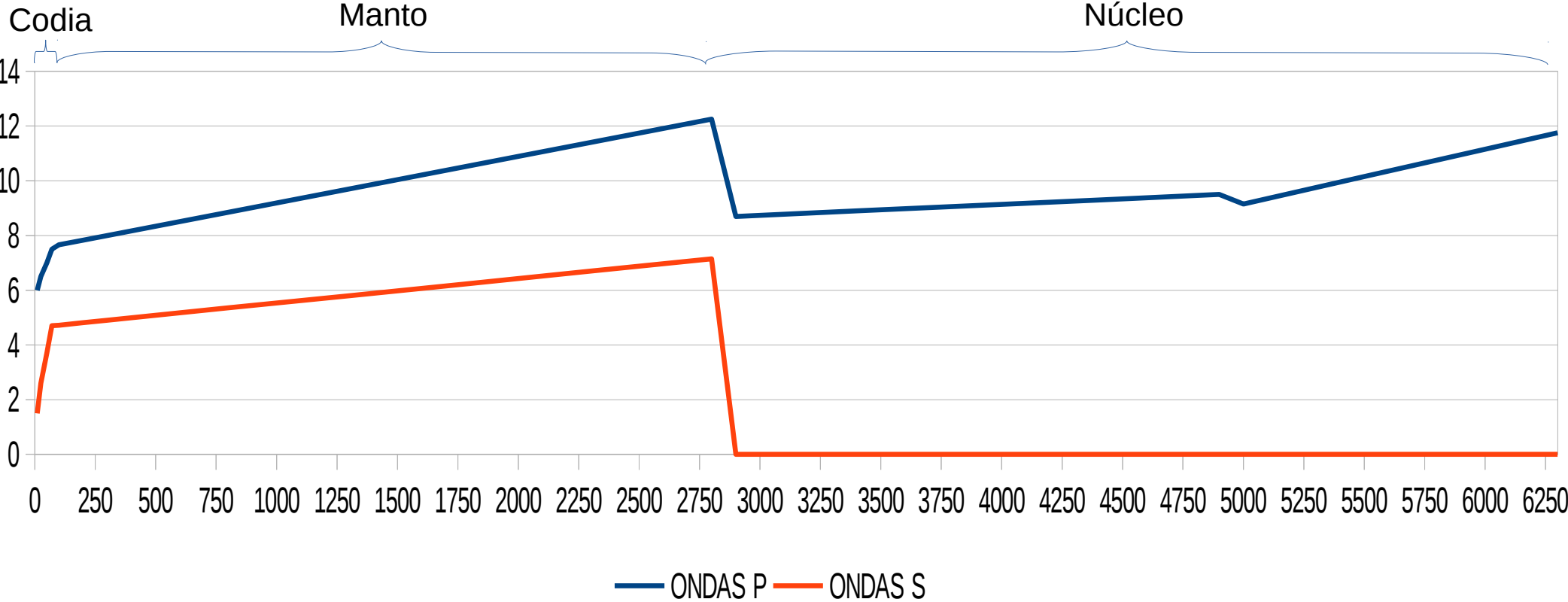
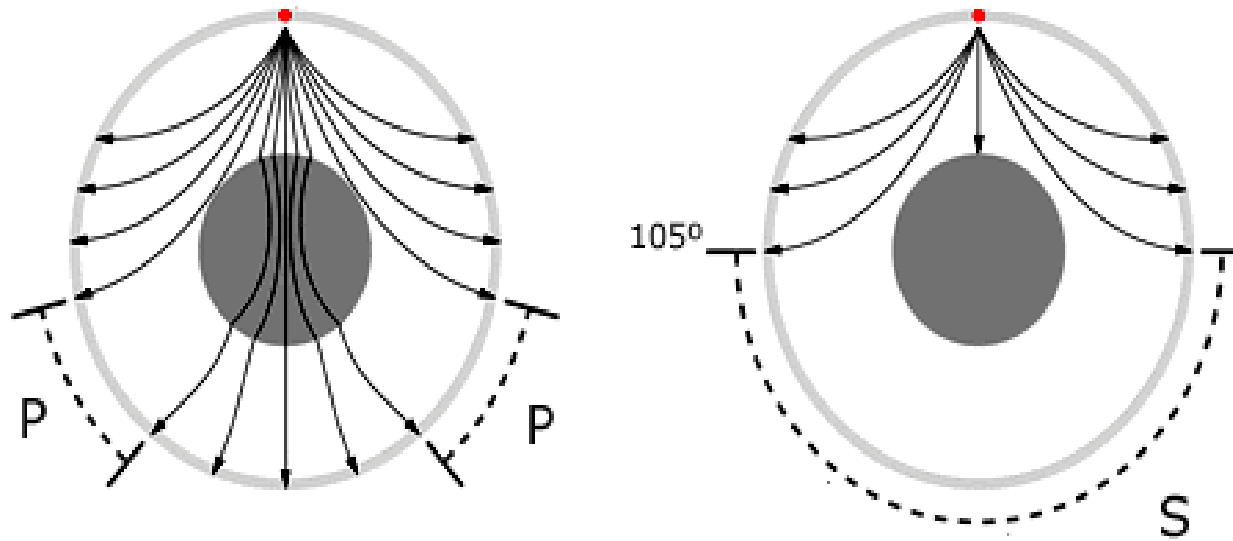
c) Coa información obtida no apartado anterior, intenta debuxar a propagación das ondas P. Como explicas que as zonas de sombra das ondas P se sitúen entre  $103^\circ$  e  $143^\circ$ ?

-FIGURA 1: ZONAS DE SOMBRA DAS ONDAS SÍSMICAS.



# SOLUCIONES: Propagación das ondas S e P en profundidade

zona sombras para las ondas P y S



### **6.3- O DESCUBREMENTO DOS NÚCLEOS INTERNO E EXTERNO**

O que acabamos de facer é o mesmo que se fixo no primeiro terzo do século XX e levou aos científicos a dividir á Terra en 3 capas concéntricas: Códia, Manto e Núcleo (Modelo composicional, ver figura 2).

A Códia sería a capa máis superficial e tería un espesor que rolda os 5 Km nos océanos e que pode acadar os 70 nos continentes. No límite Códia-Manto, prodúcese un cambio na velocidade de propagación das ondas P e S. Estes cambios na velocidade de propagación denomínanse **descontinuidades** e poden deberse a un cambio no tipo de materiais ou a un cambio nas súas propiedades como consecuencia do incremento da presión e da temperatura.

A descontinuidade que separa a Códia do Manto denomínase **descontinuidade de Mohorovic**, na honra do seu descubridor, e a uns 2900 Km de profundidade atópase a **descontinuidade de Gutenberg**, que separa o manto do núcleo.

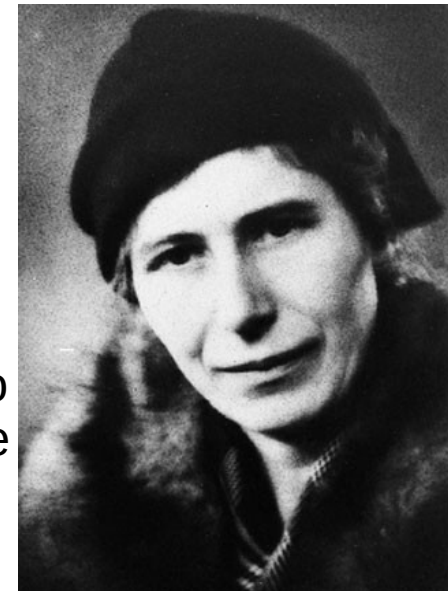
Unha vez establecida esta división do interior da Terra, quedaba un enigma por resolver. Na zona de sombra das ondas P aparecían sinais de ondas P de baixa enerxía.

O misterio foi resolto en 1936 pola investigadora danesa Inge Lehmann. Lehmann decatouse de que no interior do núcleo tamén había unha descontinuidade, que dividía ao núcleo nun núcleo externo e noutro interno.

Chegou ademais á conclusión de que o núcleo interno debía de ser sólido. Isto faría que cando as ondas P pasasen do núcleo externo ao interno e logo do interno ao externo, sufrisen dúas reflexións, xerando as ondas P de baixa enerxía detectadas na zona de sombra destas ondas.

A principios do século pasado, había moi poucas mulleres na universidade. Nestas institucións as mulleres estaban mal vistas e eran marxinas. Lehmann, non só loitou contra todos estes prexuízos, senón que ademais foi quen den ver o que ningún home fora antes capaz de ver.

Na súa honra, a descontinuidade que separa os núcleos externo e interno, a uns 5100 Km de profundidade, denomínase **Descontinuidade de Lehmann**.

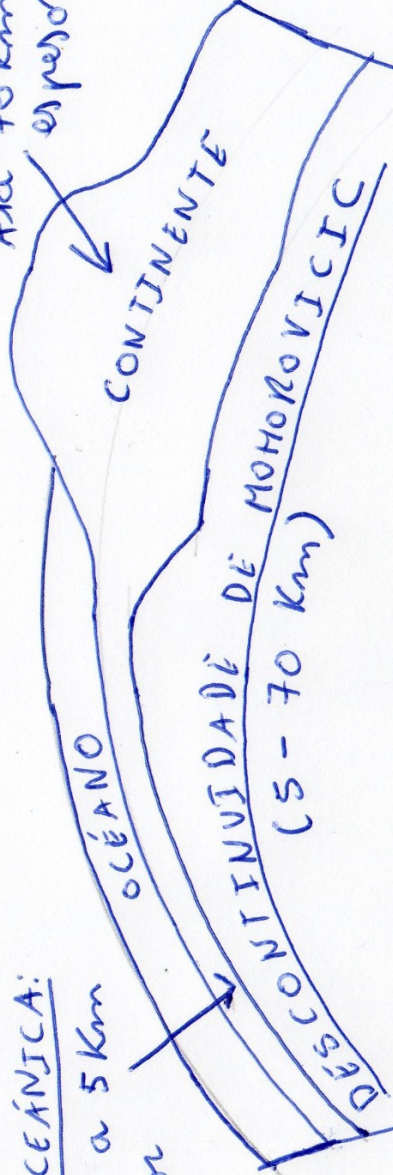


*Inge Lehmann  
(1888-1993)*

FIGURA 2: MODELO COMPOSICIONAL

CODIA OCEÁNICA:  
En torno a 5 Km  
de espesor

CODIA CONTINENTAL  
Ata 70 Km de  
espesor.



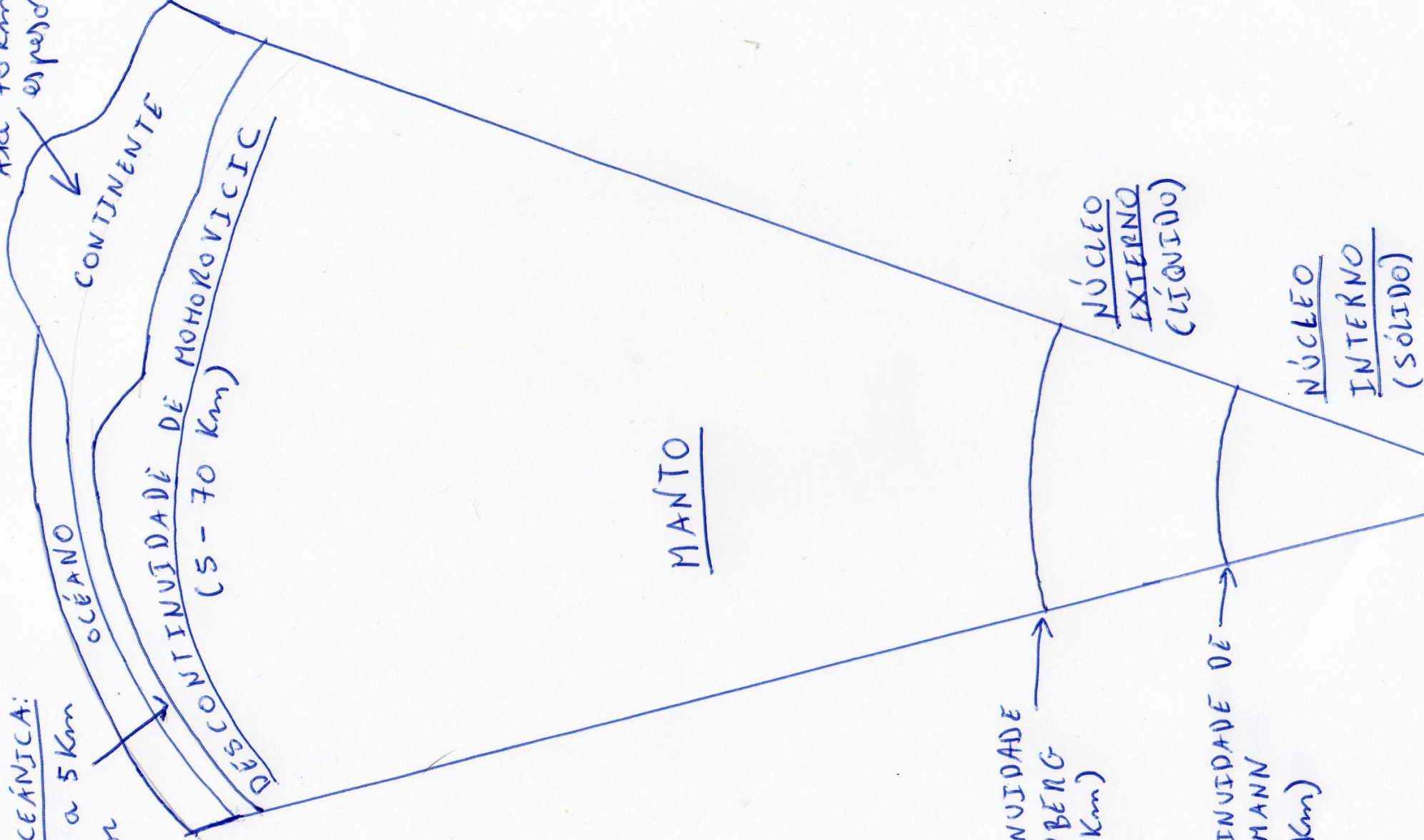
MANTO

DESCONTINUIDADE  
DE GUTENBERG  
(2.900 Km)

DESCONTINUIDADE DE  
LEHMANN  
(5.100 Km)

NÚCLEO  
EXTERNO  
(LÍQUIDO)

NÚCLEO  
INTERNO  
(SÓLIDO)



## 6.4- O MODELO DINÁMICO (Figura 3)

Segundo nos achegamos ao núcleo da Terra, a temperatura e a presión son cada vez maiores e os materiais cambian o seu comportamento. O modelo dinámico fundaméntase nestes cambios.

O modelo dinámico foi proposto para tratar de explicar o movemento das placas tectónicas e non se contrapón ao modelo composicional, senón que se complementan.

Segundo este modelo a Terra está dividida en (ver figura 3):

- **Litosfera:** Trátase da capa máis superficial. Estaría formada por rochas ríxidas e incluíría a codia e parte do manto superior. Acadaría unha profundidade duns 100 Km nos océanos e ata 180 nos continentes.

A litosfera estaría dividida nunha serie de pezas, as placas tectónicas, razón pola cal tamén se lles chama placas litosféricas.

- **Mesosfera:** Practicamente coincide co manto. Iría dende a base da litosfera ata o núcleo.

- **Endosfera:** Coincide co núcleo.

Cando se propuxo a teoría da tectónica de placas (década dos 60) e cando se formulou o modelo dinámico, propúxose que baixo a litosfera debía de existir unha capa non líquida, pero si con certo comportamento plástico que permitise que as placas litosferas esvarasen sobre elas. Isto explicaría o movemento das placas e dos continentes.

Esta capa chegaría ata os 250 Km de profundidade, pero nos últimos 20 anos veñen recompilándose moitos datos que demostran que en realidade non existe.

Como se moven entón as placas litosféricas?

Cando a Terra se formou, acumulou no seu interior gran cantidade de enerxía. Crese que ao principio tiña tal cantidade de enerxía que a Terra sería unha inmensa masa de materiais fundidos, dende a codia ata o núcleo.



Logo comezou a arrefriarse, o cal fixo que as capas máis externas, codia e manto, se solidificasen. O núcleo, debido á súa composición e ás elevadas presións, ao arrefriarse, comezou a solidificarse dende o interior, por iso o núcleo interno é sólido e o externo é líquido.

O núcleo externo, aínda líquido, segue a emitir calor cara a superficie. Ese calor quenta as partes inferiores do manto (Nivel D'). Como todo corpo que se quenta, a densidade destes materiais descende e isto fai que os materiais da parte inferior do núcleo tendan a moverse cara a superficie.

Unha vez alí, desprenden todo o calor, arrefríanse, gañan densidade e volven a descender ata o manto inferior, onde volverán quentarse co núcleo externo para volver a ascender.

Deste xeito, o núcleo arrefríase e créase no interior do manto correntes circulares que desprazan ás placas litosféricas na superficie (Ver figura 3).

A todo este proceso tamén contribuíría a desintegración de distintos elementos radioactivos que se atopan no interior do planeta. Estes procesos de desintegración radiactiva quentarían os materiais que hai no interior terrestre.

Recorda que o manto é sólido, pero ao quentarse, e debido ás altas presións, os materiais do manto adquiren certa capacidade de plástica (coma se fosen plastilina) polo que poden fluír moi lentamente.

**RECORDA, O MANTO É SÓLIDO AÍNDA QUE TEN CERTA CAPACIDADE DE FLUÍR.**

**VÍDEO: SIMULACIÓN DAS CORRENTES CONVECTIVAS DO MANTO CON ACEITE E COLORANTES ALIMENTARIOS:**

[http://www.youtube.com/watch?v=7\\_tevq9-2x0](http://www.youtube.com/watch?v=7_tevq9-2x0)

**VÍDEO: ANIMACIÓN DIXITAL QUE RECREA AS CORRENTES CONVECTIVAS DO MANTO E O MOVEMENTO DAS PLACAS TECTÓNICAS NA SUPERFICIE.**

[http://www.youtube.com/watch?v=UR\\_IE7bVI90](http://www.youtube.com/watch?v=UR_IE7bVI90)

Os materiais do manto que se moven cara a superficie son sólidos e están moi quentes. Cando están moi preto da superficie, a presión é xa moito menor e isto fai que o seu punto de fusión descenda (a temperatura necesaria para que pasen a estado líquido é menor). Isto provoca que estes materiais se fundan, o cal explica que os materiais que saen polas dorsais oceánicas sexan líquidos e non sólidos.

O magma que aflora na superficie nas dorsais, empurra ás placas en sentido o posto, pero os materiais que non chegan a saír polas dorsais, desprázanse horizontalmente baixo a litosfera, movendo as placas en sentidos opostos (ver vídeos).

Nas fosas oceánicas, as placas subducidas que se reintegran no manto, teñen unha elevada densidade e iso fai que aínda que ningunha forza as empurrase cara o interior da Terra, elas seguiríanse a afundir debido a que a forza da gravidade as atrae cara o interior terrestre igual que un folio con máis da metade do mesmo fóra do bordo dunha mesa.

**- Actividade 5:** Revisa todo o que vimos neste tema e trata de establecer os principios básicos dunha teoría que explique os movementos dos continentes, a formación dos oróxeos e a existencia de sismos e volcáns.

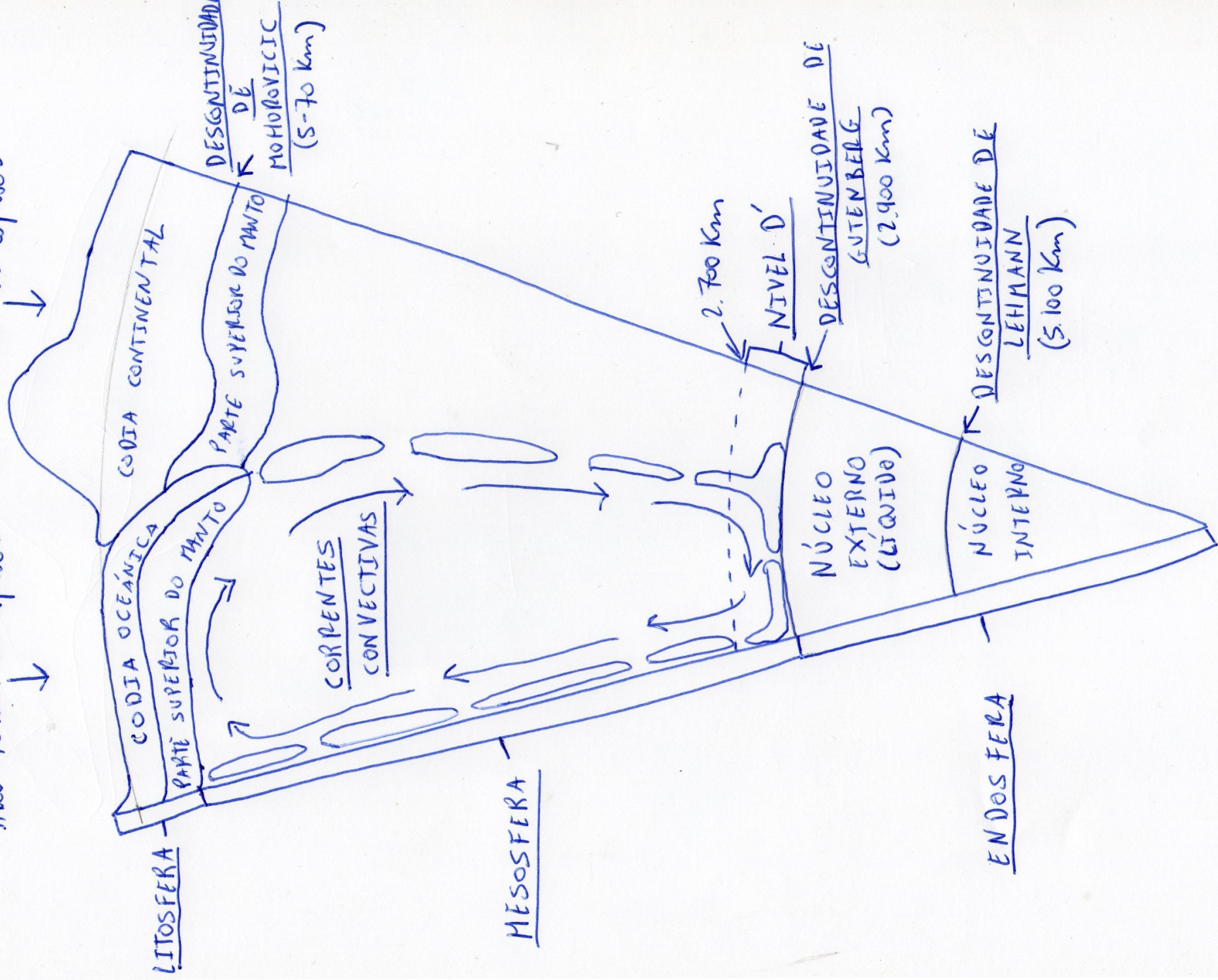
## **7- A TEORÍA DA TECTÓNICA DE PLACAS**

Na década de 1960, a comunidade científica puxo sobre a mesa toda a información que se tiña sobre os fondos oceánicos e o interior da Terra e propuxo unha nova teoría mobilista que explicaba tódolos fenómenos xeolóxicos que acontecían na actualidade e no pasado na superficie da Terra, razón pola cal se lle chamou a **Teoría da Tectónica global ou a Teoría da Tectónica de Placas**.

FIGURA 3: MODELO DINÂMICO

LITOSFERA OCEÂNICA  
Ata 70km de espesor

LITOSFERA CONTINENTAL  
Ata 180km de espesor



## Os principios básicos da teoría da Tectónica de Placas son:

1- A capa máis superficial da Terra denomínase litosfera e atópase dividida nunha serie de placas tectónicas.

2- As placas litosféricas móvense e ao facelo interaccionan nos seus bordos, separándose (dorsais oceánicas), colidindo (fosas oceánicas) ou esvarando as unhas con respecto das outras (bordos pasivos).

Como consecuencia destas interaccións, nos bordos das placas tectónicas atopamos actividade sísmica e volcánica e fórmanse oróxenos.

3- As placas litosféricas móvense sobre o manto debido a correntes convectivas que se producen no interior do manto. Estas correntes son o resultado do calor que a Terra acumulou na súa orixe, e que dende entón está a emitir ao exterior, e dos procesos de desintegración radiactiva de distintos materiais do interior terrestre.

Tanto o material que aflora na superficie polas dorsais, coma o que se move horizontalmente por de baixo delas, move as placas en sentidos opostos e unha vez nas zonas de subdución, a forza da gravidade tira das placas cara o centro da Terra.

4- A litosfera oceánica renóvase constantemente: créase nas dorsais e destrúese nas fosas. Pola contra, a litosfera continental é moi antiga. Iso explica que non existan fondos oceánicos de máis de 180 millóns de anos, mentres que podemos atopar litosfera continental con 4000 millóns de anos de antigüidade.

5 - Ao longo da historia da Terra, o número, forma e distribución das placas tectónicas cambiou e segue a facelo. Debido a isto existiu máis dunha Panxea (supercontinente que engloba a tódolos continentes actuais) e no futuro volverán a existir.

# **8- O CICLO DE WILSON**

## **8.1- As fases do ciclo de Wilson:**

Coa formulación da teoría da Tectónica de placas, a finais da década de 1960, o xeólogo canadense, John Tuzo Wilson, propuxo que os continentes deben de seguir unha serie de fases cíclicas que fan que cada certo tempo se reúnan nun gran supercontinente ou Panxea.

A todo este ciclo, na súa honra, púxoselle o nome de Ciclo de Wilson:

**- 1º Fase: Apertura dun novo océano.** No manto situado baixo unha zona inactiva dunha placa tectónica, xérase unha corrente ascendente. Nun primeiro momento xera unha elevación, un abombamento no terreo, formando o que se coñece como domo térmico.

O domo térmico é o resultado de materiais magmáticos fundidos e lixeiros que tratan de chegar á superficie da Terra, pero que non afloran nela, senón que se quedan no subsolo.

Pasado un certo tempo, estes materiais arrefríanse, co consecuente aumento na súa densidade, o cal produce que se afundan. Ao facelo tiran dos materiais que teñen ao redor e xeran na superficie unha cunca que se pode encher de auga, xerando un lago.

Este afundimento xera fendas nos materiais polos que flúe magma procedente do manto que comeza a crear fondo oceánico, empurrando os dous extremos do lago en sentidos opostos, ata que finalmente, ese lago se converte nun pequeno mar.

Un exemplo témolo en África. No sur de África existen domos térmicos, máis ao norte o terreo está afundido e inundado, o cal deu lugar aos grandes lagos africanos e máis ao norte atopámonos xa un pequeno mar en expansión, o mar Vermello.

**-2ª Fase: Océano en expansión.** Na dorsal oceánica créase fondo oceánico o cal fai que aumente a extensión do mesmo. Exemplo: Océano Atlántico.

### **-3ª Fase: Formación dunha zona de subdución na que coliden dúas placas oceánicas.**

Segundo o fondo oceánico se afasta da dorsal, incrementase a súa densidade. Isto débese ao arrefriamento progresivo do mesmo e á compresión dos materiais producido pola acción do peso da columna de auga que hai sobre eles. Chega un momento no que a densidade do fondo oceánico é tan alta que este se afunde, xerando un bordo converxente no que coliden 2 placas oceánicas. Un exemplo atopariámolo na costa este de Asia (Xapón, Filipinas, Aleutianas...)

VÍDEO: O NACEMENTOS DUNHA ILLA:  
[http://www.youtube.com/watch?v=CL3\\_5q1PDRY](http://www.youtube.com/watch?v=CL3_5q1PDRY)

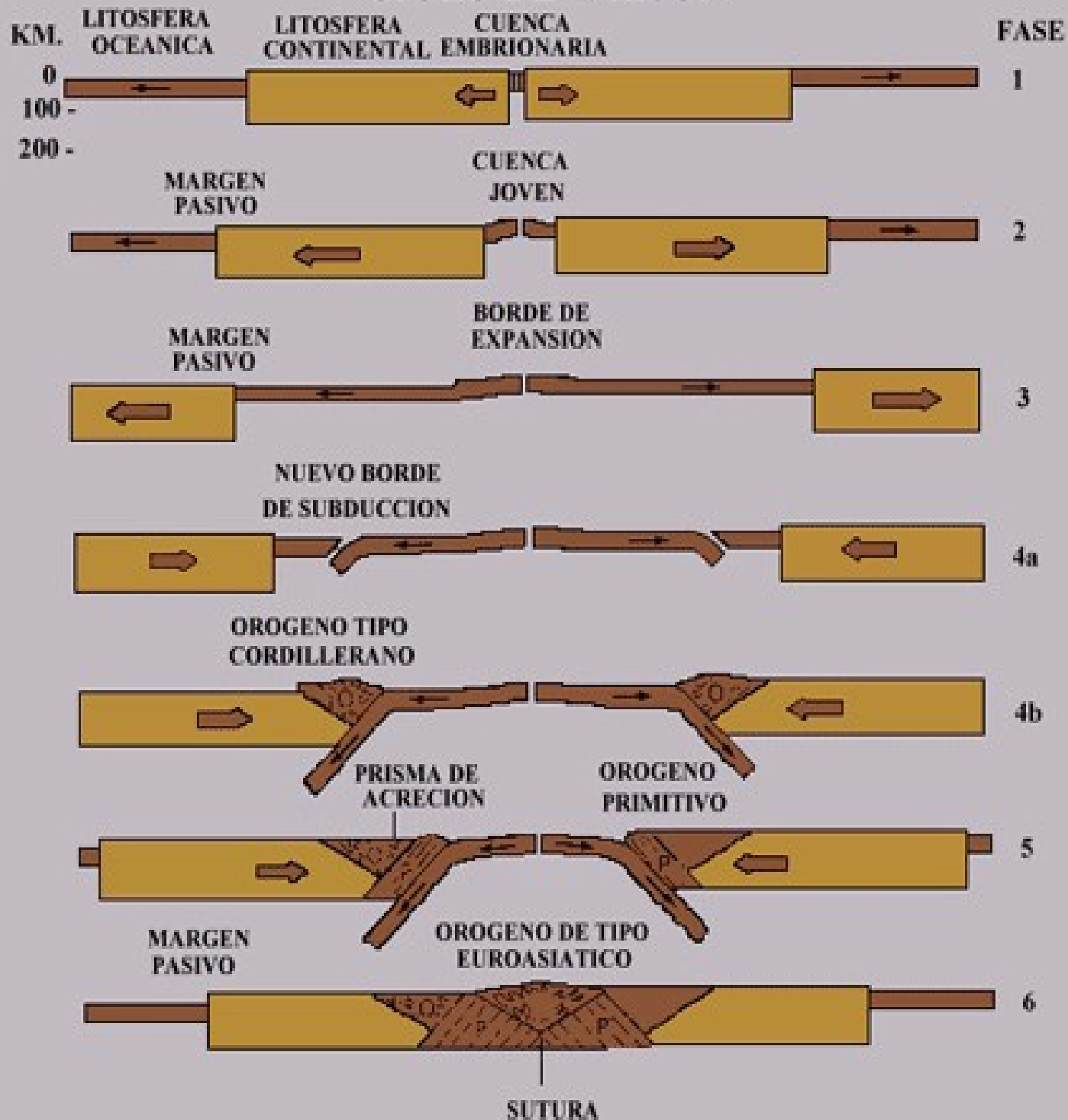
**- 4ª Fase:** A subdución continúa, provocando que o arco de illas formado na fase anterior continúe a elevarse, ata que finalmente se une ao continente, xerando un bordo converxente no que colide unha placa oceánica cunha continental, como sucede no Oeste de Sudamérica (Cordal dos Andes).

**- 5ª Fase:** Tarde ou cedo a dorsal oceánica deixa de ter actividade, pero a subdución continúa, polo que ao final, coa placa oceánica acaba chegando un continente, producíndose un bordo converxente continente-continente.

Cando coliden dous continentes, os sedimentos dos fondos mariños situados entre eles préganse e elévanse, quedando no centro da cordilleira intracontinental recen formada.

**- 6ª Fase:** As forzas que moven as placas tectónicas cesan. As dúas antigas placas quedan integrada nunha única placa. Na superficie terrestre vese unha cordilleira intracontinental que xa non crece e que marca o límite das antigas placas. Exemplo: Montes Urais, resultado da colisión entre Europa e Asia hai uns 300 millóns de anos.

# CICLO DE WILSON



## 8.2- Unha excepción ao ciclo de Wilson: os puntos quentes.

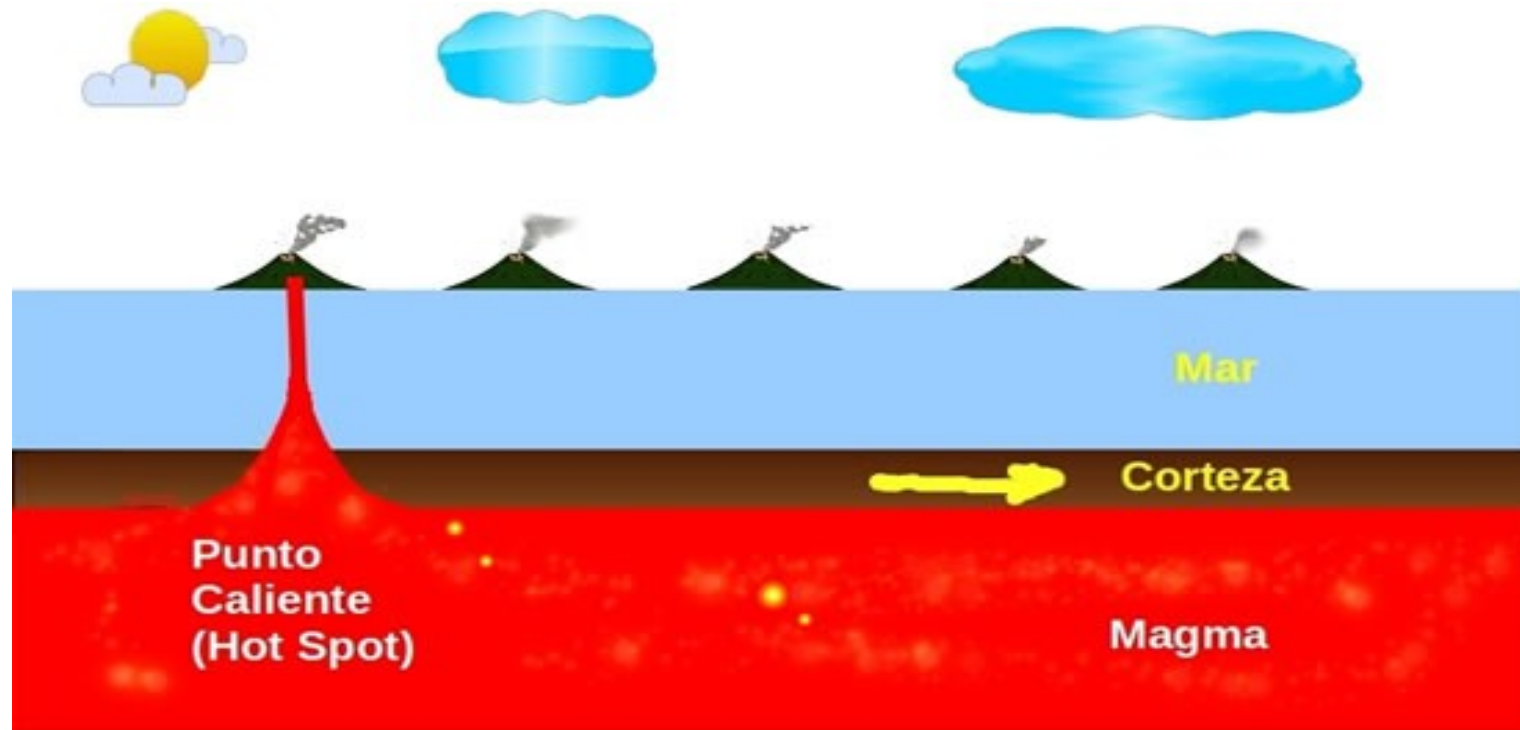
Se volves ver o mapa mundial de sismos e volcáns, comprobarás que existen puntos no interior das placas tectónicas, afastados de calquera bordo de placa, cunha alta actividade volcánica.

Estes puntos denomínanse Hot Spots ou Puntos Quentes e correpóndese con zonas nas que ascenden columnas de magma procedentes do Nivel D' do manto, que cando acadan a superficie forman volcáns.

Cando este fenómeno acontece nunha litosfera oceánica, xérase un arquipélago de illas lineal. Isto podemos observalo por exemplo nas Illas Hawai ou nas Galápagos.

Esta disposición lineal, débese a que, mentres a columna de magma ascendente permanece fixa, a litosfera oceánica desprázase na dirección dorsal-fosa, polo que os afloramentos periódicos de magma xeran illas volcánicas situadas ao longo da liña que describe dita dirección.

Este fenómeno tamén se pode dar na litosfera continental, como sucede no Parque de Yellowstone.





- **Actividade 6:** A continuación tes a localización de diferentes lugares do planeta: Grandes lagos africanos, Xapón, Himalaia, Montes Urais, Afganistán, Islandia, Mar Mediterráneo, Costa galega, Océano Índico e Illas do Caribe.

Axudandote do Google Maps e do mapa das placas tectónicas, indica para cada un deles:

- a) Que tipo de bordo de placa é.
- b) Se nel podemos atopar actividade sísmica e volcánica.
- c) Oróxeos que atopamos.
- d) Como podería evolucionar no futuro.