

TECTÒNICA DE PLAQUES

1.- LA DERIVA CONTINENTAL

Durant el segle XX la geologia va avançar de forma espectacular en diversos camps, però indubtablement el fet de major transcendència va ser el desenvolupament de la TECTÒNICA DE PLAQUES que té els seus fonaments en una teoria anterior de principis del segle XX: LA TEORIA DE LA DERIVA CONTINENTAL.

La deriva continental, proposada per **Alfred Wegener** al 1912, diu que els continents no es troben en una posició fixa en la superfície terrestre ja que aquests s'han anat desplaçant repetidament en el curs de la història geològica del planeta fins a la configuració actual.

Wegener proposà que durant l'Era Primària els continents actuals estaven agrupats formant un únic continent anomenat **PANGEA**. Posteriorment, a partir de l'Era Secundària (230 m.a.), aquest súper continent es va fragmentar fins a configurar l'estat actual.

Aquesta teoria va trobar una forta oposició entre els geofísics de l'època, els quals consideraven que la Terra era un cos rígid que no permetia desplaçaments continentals. Aquesta actitud començà a canviar en els anys 50 de segle XX arrel dels estudis de **paleomagnetisme** que van obrir el camí del desenvolupament de la Teoria de la Tectònica de Plaques.

2.- TECTÒNICA DE PLAQUES

La **TEORIA DE LA TECTÒNICA DE PLAQUES** permet explicar l'origen, la distribució i la relació que existeix entre alguns dels processos geològics més importants:

- El Vulcanisme
- La Sismicitat
- Les Orogènies
- L'obertura i tancament dels oceans
- Etc.

Per aquest motiu es considera una **TEORIA GLOBAL** sobre la dinàmica terrestre.

La teoria de la Tectònica de Plaques es recolza en els **conceptes bàsics** següents:

- a.) La capa de baixa velocitat és una capa de **baixa rigidesa**, per tant es comporta plàsticament en contrast amb la litosfera que és un milió de vegades més rígida, no és universal.
- b.) La **Litosfera** està dividida en fragments o **plaques** que es poden moure els uns respecte dels altres. Els **límits entre plaques** estan definits per cinturons sísmics i/o volcànics.

En l'actualitat la superfície terrestre està dividida en set grans **plaques litosfèriques**:

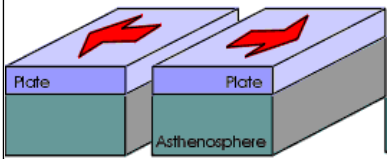
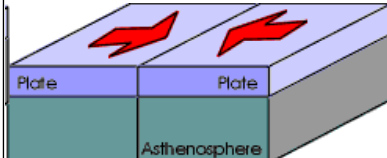
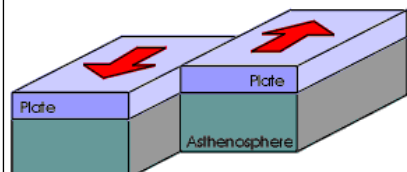
- EUROASIÀTICA
- AFRICANA
- SUDAMERICANA
- NORDAMERICANA
- PACÍFICA
- INDOAUSTRALIANA
- ANTÀRTICA

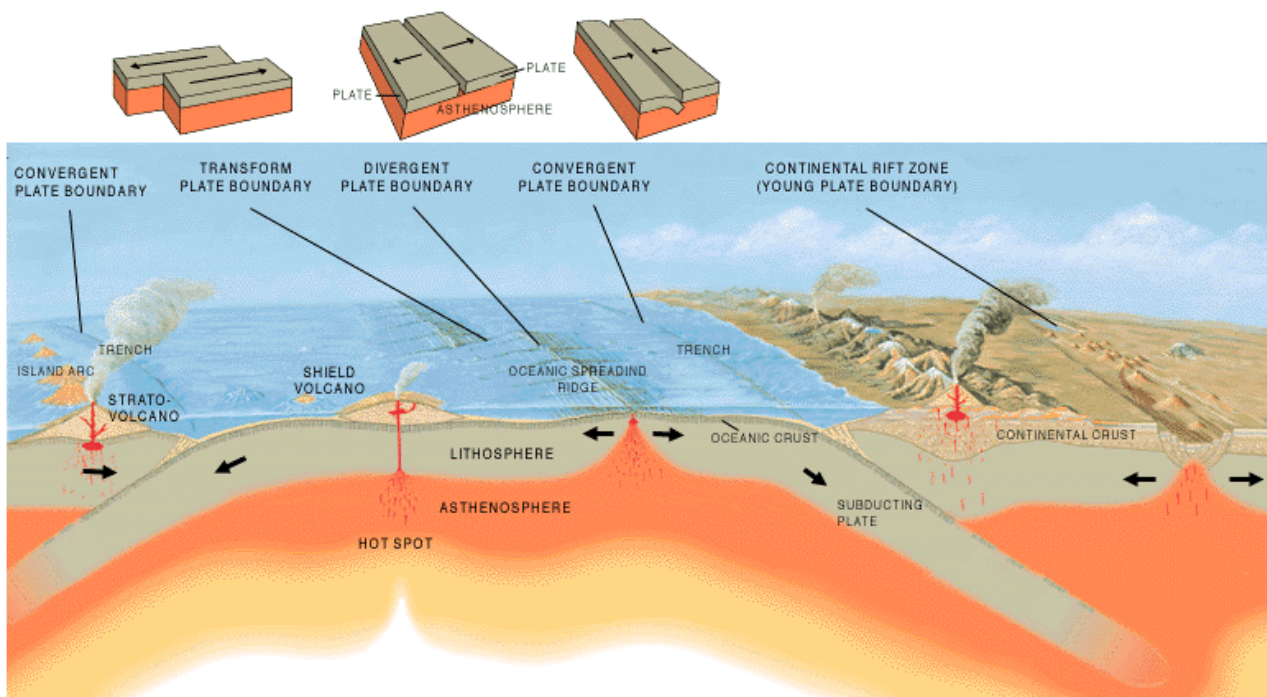
Totes les plaques estan formades en part per litosfera oceànica i en part per litosfera continental (són **plaques mixtes**) a excepció de la Placa del Pacífic (formada únicament per litosfera oceànica)

Les plaques litosfèriques s'estenen fins a l'Astenosfera, és a dir, que estan formades per la Litosfera (escorça i una part del mantell superior). El seu gruix oscil·la entre els 10 km en les proximitats de les dorsals oceàniques i els 150 km en alguns continents.



Els **límits entre plaques** poden ser:

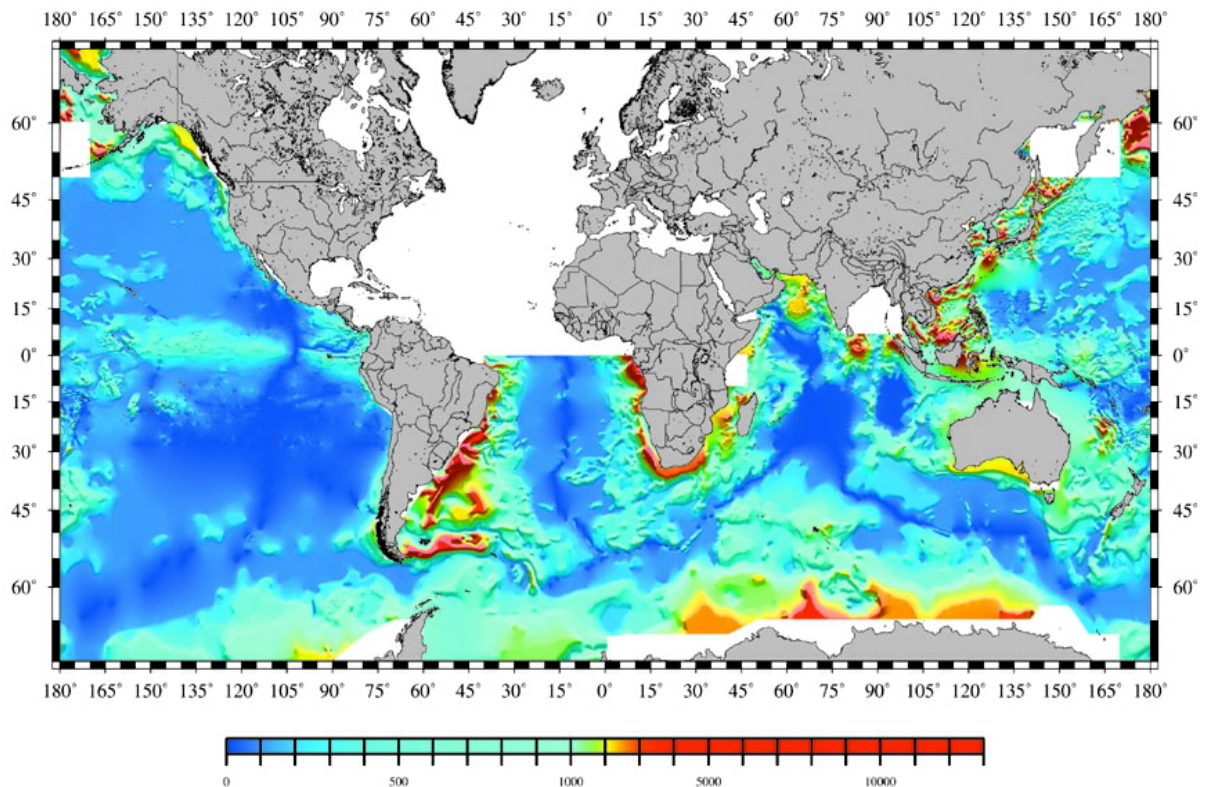
DIVERGENTS, CONSTRUCTIUS o EXPANSIUS 	DORSALS OCEÀNIQUES	- Se separen les plaques (divergent) - Es crea litosfera oceànica (constructiu) i es produeix una expansió del fons oceànic.
CONVERGENTS o DESTRUCTIUS 	ZONES DE SUBDUCCIÓ ZONES DE COL·LISIÓ	- Es destrueix litosfera per subducció (introducció per sota) - Es destrueix litosfera per encavalcament respecte a altra placa
TRANSFORMANTS, PASSIUS o CONSERVATIUS 	FALLES DE TRANSFORMACIÓ	- No hi ha ni construcció ni destrucció de litosfera. - Es produeix un moviment lateral entre plaques



3.- PROVES DE LA TECTÒNICA DE PLAQUES

3.1.- PROVES OCEÀNIQUES

a.) VOLUM I DISTRIBUCIÓ DE LES CONQUES OCEÀNIQUES

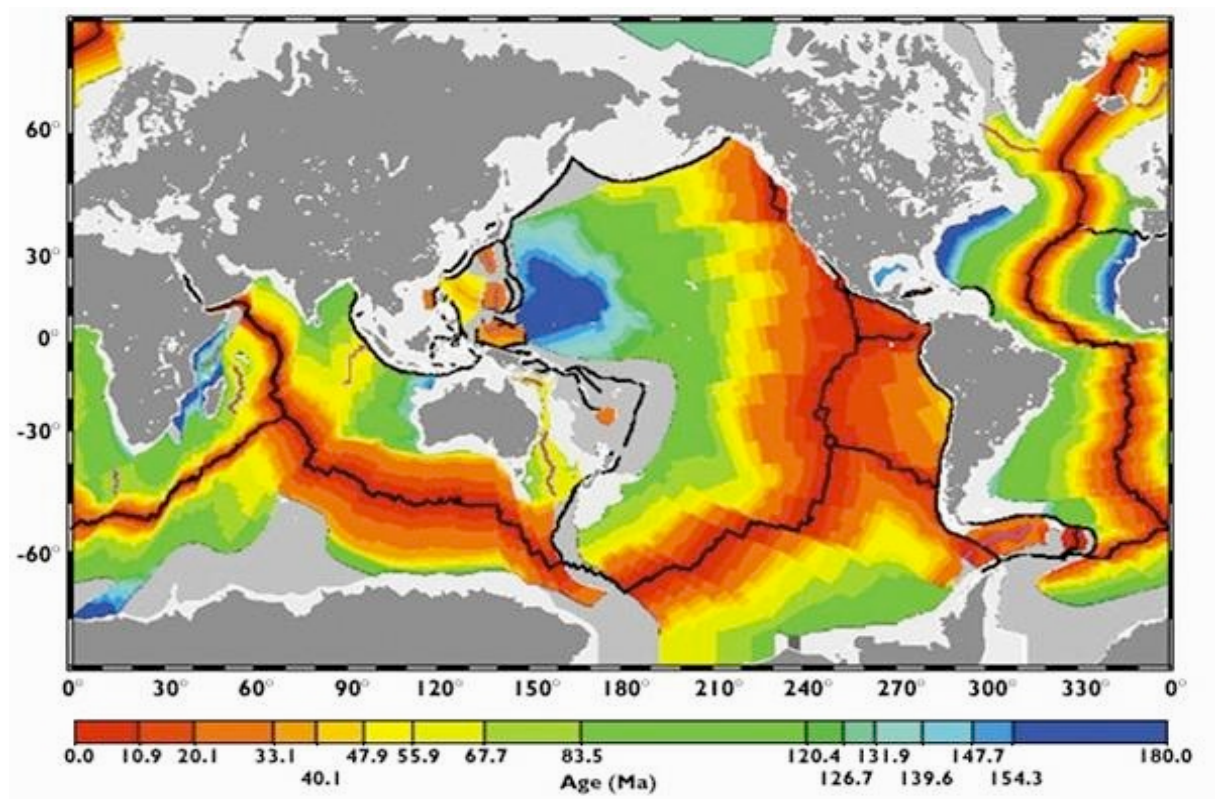


Suposant que la quantitat de sediments que arriben actualment a les conques oceàniques ha estat similar en el passat i acceptant com l'edat dels oceans 3.500 m.a., hauria d'haver en el fons oceànic un gruix mínim de 17 km de sediments compactats.

Però el gruix mitjà real (1,3 km) es pot explicar únicament si acceptem que els fons oceànics es renoven contínuament, tal i com proposa la Teoria de la Tectònica de Plaques.

Per altra banda, moltes zones de dorsals es veuen totalment lliures de sediments però a les vores continentals dels oceans hi ha sediments amb un gruix de fins a 13 km.

b.) EDAT DE L'ESCORÇA OCEÀNICA



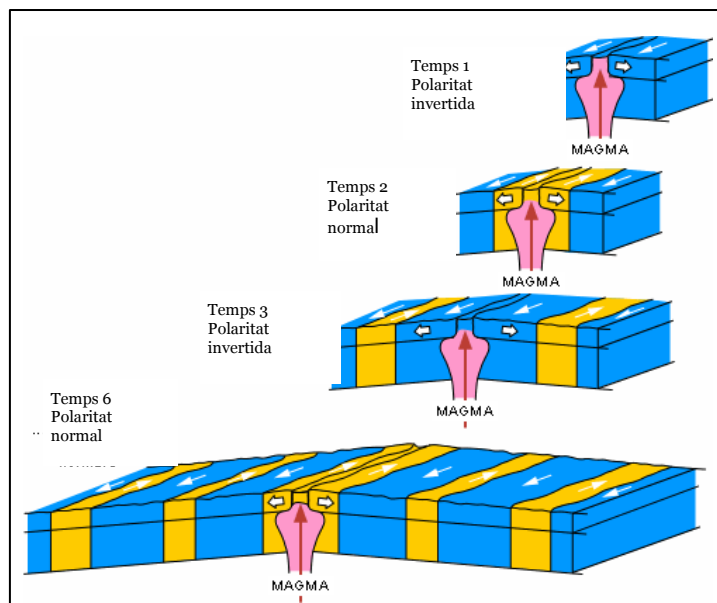
L'escorça oceànica és molt jove en les dorsals i arriba a la seva màxima edat a les costes, al costat dels continents.

c.) LLISTAT MAGNÈTIC

Les roques riques en ferro tenen un magnetisme fòssil, que queda imprès en el moment de la seva formació, anomenat **magnetisme romanent**.

Amb l'estudi del magnetisme romanent s'ha arribat a la conclusió que el camp magnètic de la Terra ha patit canvis freqüents de polaritat durant els quals s'anul·la per retornar amb pols magnètics en posicions oposades a les que tenia prèviament.

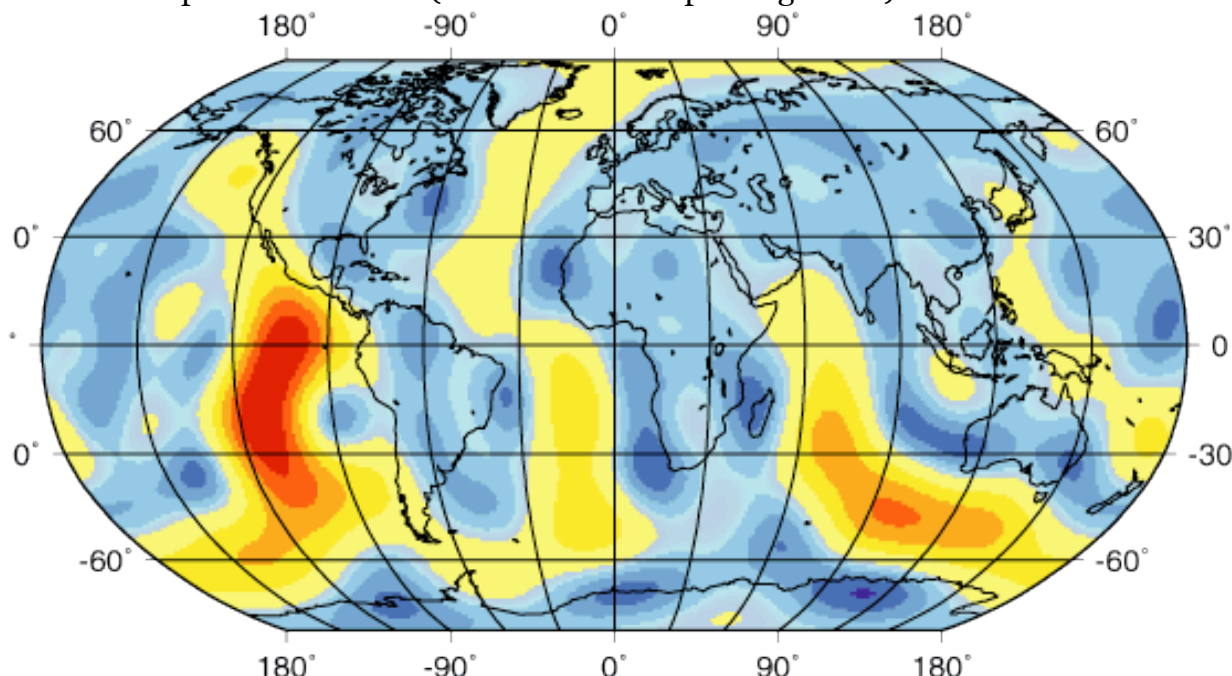
En moltes dorsals es troba una **simetria de llistat magnètic** sorprenent, que es pot explicar únicament si es considera que existeix una extensió simètrica del fons oceànic.



d.) FLUX TÈRMIC EN LES CONQUES OCEÀNIQUES

Les dorsals (centres de creació de litosfera per fenòmens magmàtics) tenen, lògicament una anomalia tèrmica positiva que desapareix a una 100 km de la dorsal.

El flux tèrmic és també molt elevat en les zones de subducció degut a la generació de calor en el procés subductiu (fonamentalment per fregament).



El flux tèrmic mitjà és d'uns 57 miliwatts per metre quadrat (mW/m^2), el flux tèrmic oceànic és d'uns $100 \text{ mW}/\text{m}^2$. Els colors càlids (groc-taronja-vermell) indiquen un flux superior al mitjà (anomalia tèrmica positiva)

3.2.- PROVES CONTINENTALS

a.) PROVES MORFOLÒGIQUES



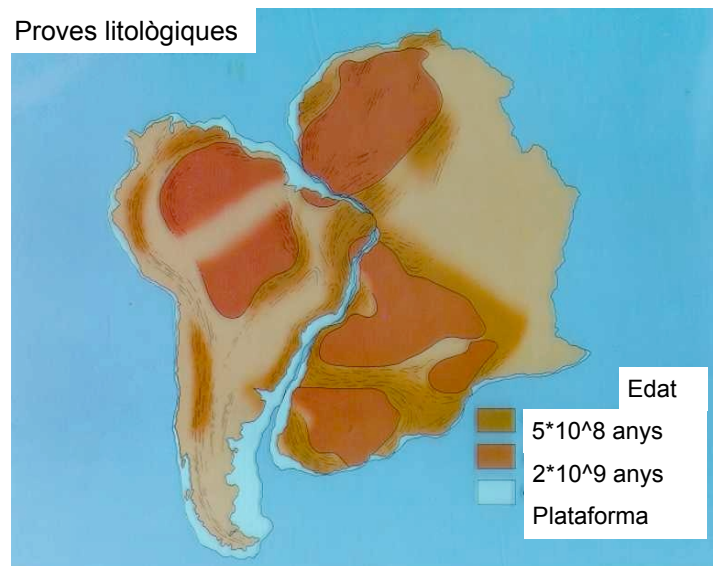
Wegener va utilitzar la forma geogràfica dels límits de la costa d'Àfrica i d'Amèrica del sud per suggerir que els dos continents van estar units formant un gran continent. Al 1960 Bullard va indicar que es pot obtenir un ajustament millor si s'inclouen les plataformes continentals, a una profunditat d'uns 900 metres, com a part dels continents.

b.) PROVES ESTRUCTURALS

Existeixen estructures tectòniques que tenen continuïtat en continents que avui dia estan separats. Per exemple: Existeix un ajustament entre les serralades de l'Atlàntic Nord i la serralada Apalatxiana de l'est d'Amèrica del Nord que desapareixen en la costa Atlàntica, però es troben muntanyes d'edat i estructura similar en Escandinàvia i les Illes Britàniques.



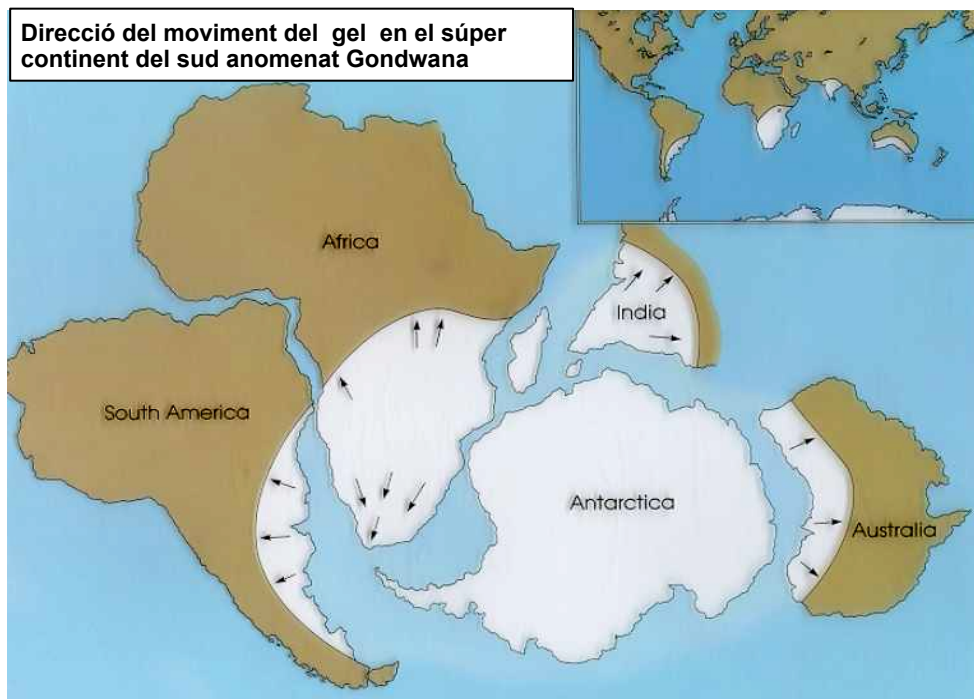
Quan aquestes terres es restableixen a les seves posicions inicials, les serralades formen un cinturó continu. Aquestes serralades es van formar fa uns 300 m.a. quan les terres van xocar per formar el súper continent PANGEA. També existeix continuïtat entre els dipòsits de continents diferents. Per exemple: Els gneissos de la Plana Africana són els mateixos que els del Brasil



c.) PROVES PALEOCLIMÀTIQUES

La presència dels mateixos dipòsits en continents diferents indiquen les mateixes circumstàncies climàtiques. Si aquests continents a més es troben en latituds que no corresponen als dipòsits descrits, ens indiquen que han patit una deriva continental.

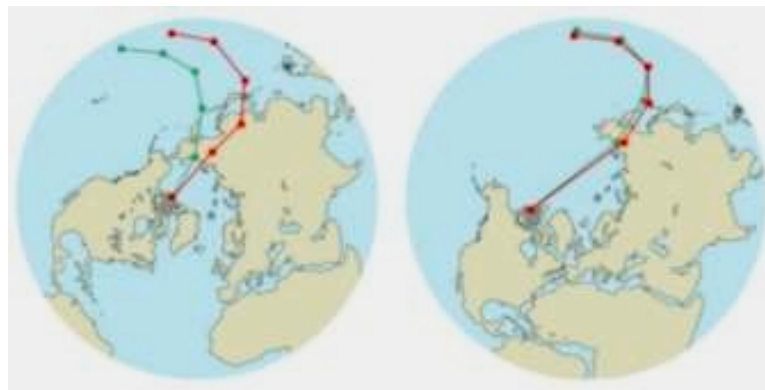
A Amèrica del Sud, Àfrica, L'Índia, L'Antàrtida i Austràlia existeixen dipòsits glacials (morenes) amb el mateix origen cosa que implica que aquests continents van estar junts i propers al Pol Sud.



d.) PALEOMAGNETISME

Aquest és un dels arguments més importants a favor de la deriva dels continents.

El magnetisme romanent d'una roca fèrrica conté informació sobre el camp magnètic sota el que es va imantar, aquesta informació es pot traduir en una **distància al pol magnètic**.

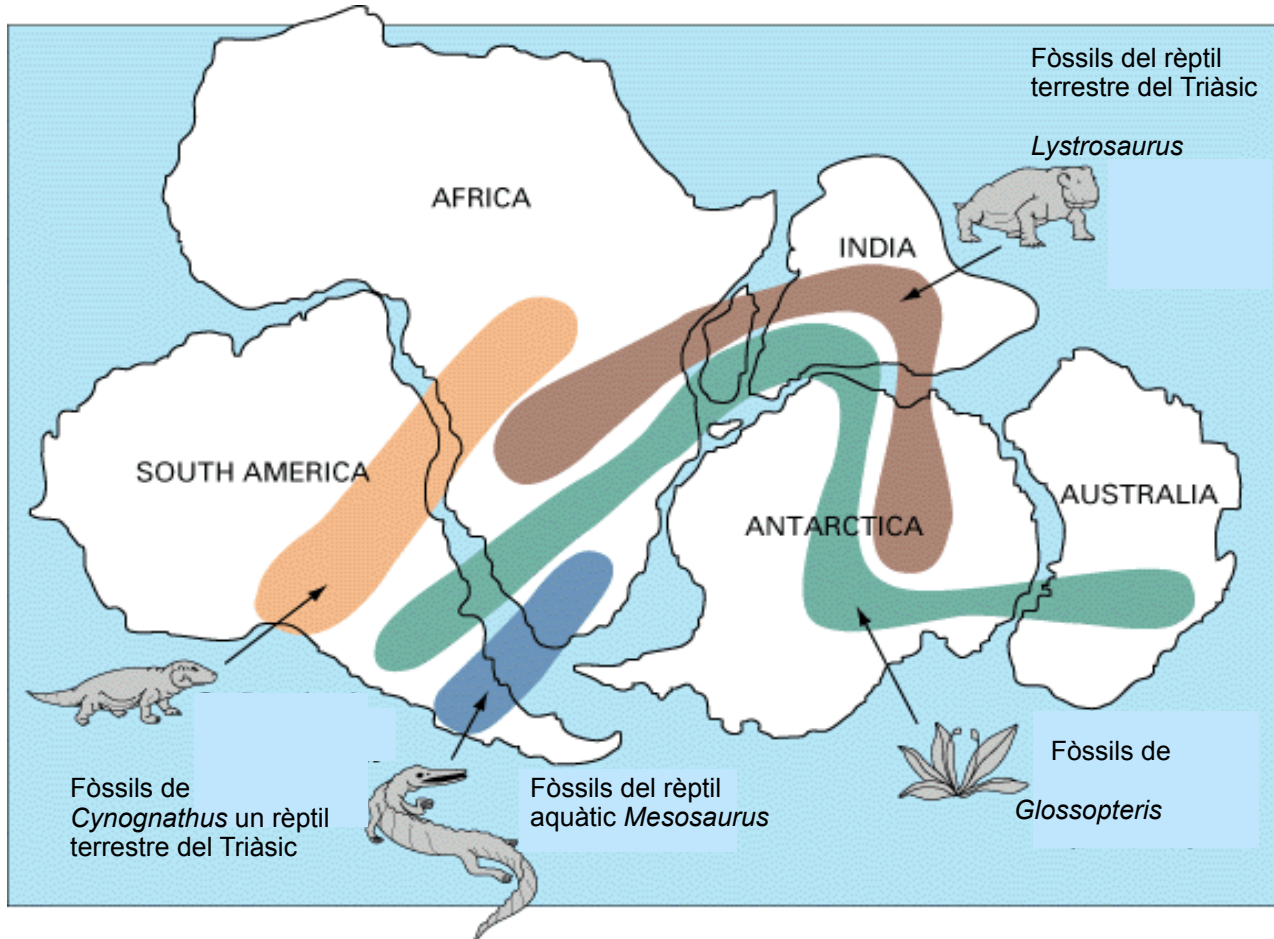


Fent un estudi de roques magnetitzades d'una mateixa zona i de diferents edats sembla que hi hagi un desplaçament en la situació del pol magnètic (**migració aparent dels pols**). Obtenint les corbes de zones diferents es pot arribar al resultat final de l'acoblament dels continents.

e.) PROVES PALEONTOLÒGIQUES I BIOGEOGRÀFIQUES

Wegener va utilitzar les dades paleontològiques recollides pels evolucionistes (Darwin i Wallace) per explicar la distribució geogràfica dels fòssils i dels éssers vius actuals.

Aquestes observacions es poden explicar de la forma següent:



Durant el Mesozoic el súper continent PANGEA es va fragmentar en un continent septentrional (N), anomenat Laurasia, i un continent meridional, anomenat Gondwana, separats per un mar (Tetys).

Els primers marsupials haurien aparegut al continent meridional de forma que quan Gondwana es va fragmentar per donar lloc a Amèrica del Sud, Àfrica i Austràlia, els marsupials ocuparen els tres continents. Posteriorment s'extingiren a Àfrica (i gairebé a Amèrica del Sud) ja que no van poder competir amb els mamífers més moderns (placentaris) que arribaren dels continents septentrionals (Euroasiàtic i Nord-americà)

4.- ELS LÍMITS DE LES PLAQUES TECTÒNIQUES

4.1.- LÍMITS DIVERGENTS, CONSTRUCTIUS o EXPANSIUS (DORSALS OCEÀNIQUES)

a.) CARACTERÍSTIQUES GENERALS

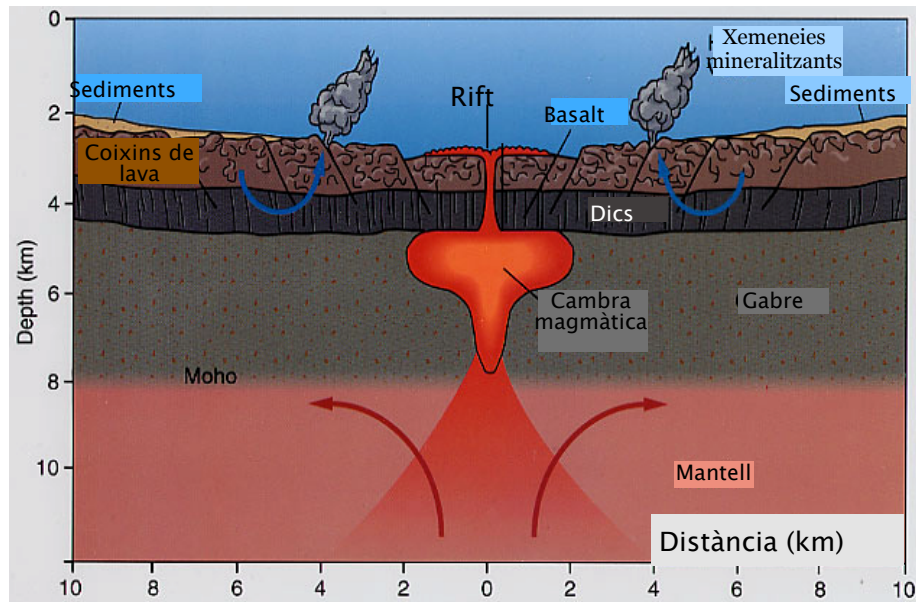
El sistema de dorsals oceàniques és una gran cadena de serralades submarines amb una extensió d'uns 75.000 km.

Les dorsals tenen relleus suaus si es comparen amb les cadenes de muntanyes continentals. Una dorsal típica té una 1.000 km d'amplada i 1.000 o 2.000 metres d'alçada. Les altures màximes es presenten a la part central i de vegades sobresurten per sobre del nivell del mar originant illes (Per ex: Islàndia)

La part central de les dorsals està constituïda per una cresta doble, al mig de la qual se situa una profunda fossa tectònica (**rift**) per la que pugen colades de lava

basàltica procedents de la cambra magmàtica (normalment situada entre la part inferior de l'escorça i la part superior del mantell superior).

La Teoria de la Tectònica de Plaques afirma que dues plaques veïnes poden separar-se en una zona on puja material fos que genera nova escorça oceànica. Aquesta separació amb formació de nova escorça provoca el que es coneix com **EXPANSIÓ DEL FONS OCEÀNIC**.



b.) MAGMATISME ASSOCIAT

L'existència de tensions provoca que la litosfera es fracturi. Quan aquestes fractures arriben al mantell es produeix un descens de la pressió que provoca la fusió parcial de les peridotites (les roques que formen el mantell i que es troben a elevades temperatures). La fusió origina **MAGMES BASÀLTICS** (de tipus TOLEÍTIC).

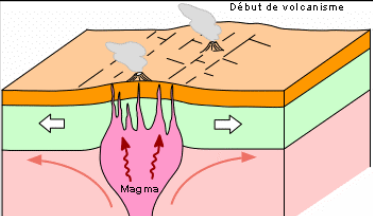
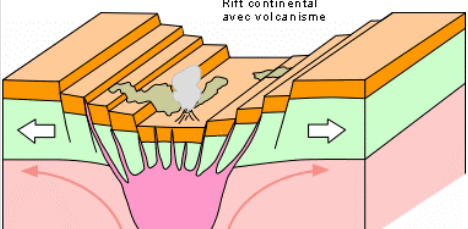
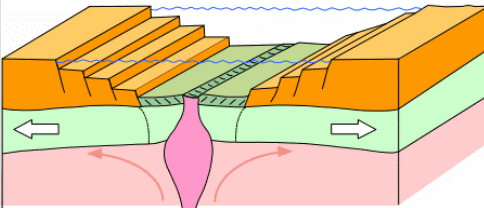
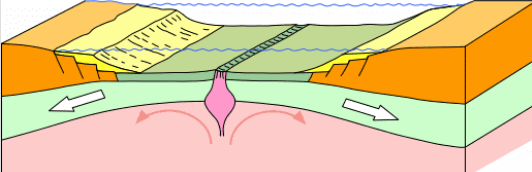
A dins del mantell sòlid s'acumulen grans gotes de magma fluid que, com són menys denses, s'eleven i acumulen a la base de l'escorça en les **cambres magmàtiques**. Una part d'aquest magma arriba a la superfície del fons oceànic originant **coixins de lava** i volcans submarins, una part omple les fractures i forma **dics**. Per últim, el magma no emès que resta a la cambra magmàtica cristal·litza lentament i forma **GABRES** (de gra gruixut).

c.) SISMICITAT

En les dorsals es produeixen **TERRATRÈMOLS SUPERFICIALS** (focus d'uns 10-20 km de profunditat) de magnitud moderada. Els terratrèmols no es distribueixen a l'atzar en el fons oceànic, es concentren a l'àrea de la dorsal.

d.) ORIGEN I EVOLUCIÓ D'UNA DORSAL

Els esquemes següents il·lustren quatre etapes de la formació d'un oceà:

	Inici d'un Rift Continental Les forces de tensió originen fractures, les peridotites fonen i s'inicia el vulcanisme continental Ex: Vall del Riu Grande (U.S.A.)
	Rift Continental Les tensions produïdes per l'estirament de la litosfera provoca un esfondrament en forma de fossa tectònica. És l'anomenat Rift continental (rift valley) Ex: El Gran Rift de l'Àfrica Oriental
	Mar Lineal L'estirament continua i el Rift s'enfonsa per sota del nivell del mar, l'aigua marina envaeixen la vall. Els dos límits amb litosfera continental es van separar i es va formant litosfera oceànica al mig. Ex: Mar Roig
	Oceà Tipus Atlàntic S'origina un oceà amb la dorsal individualitzada, el fons abissal i les plataformes continentals corresponents. Ex: oceà Atlàntic

e.) PROVES QUE CORROBOREN LA HIPÒTESI DE L'EXPANSIÓ DEL FONS OCEÀNIC

- L'activitat volcànica submarina es concentra en les dorsals.
- Els terratrèmols submarins es concentren en la zona de la dorsal.
- Edat de l'escorça oceànica.
- El flux geotèrmic oceànic arriba al seu valor màxim en les dorsals (per l'ascens del magma).
- Distribució dels sediments en les conques oceàniques.
- Simetria del llistat magnètic.
- Determinació de la velocitat d'expansió del fons oceànic. Es pot determinar per mètodes directes (satèl·lits), o indirectes (a partir de l'edat de les roques i la seva distància a la dorsal, etc.)

4.2.- LÍMITS CONVERGENTS o DESTRUCTIUS

A mesura que es genera nova litosfera oceànica en les dorsals ha d'haver-hi una destrucció que la compensi, ja que no existeix evidència que la Terra s'expandeixi. Aquesta destrucció de l'escorça antiga de la Terra té lloc en els límits destructius.

4.2.1.-ZONES DE SUBDUCCIÓ

a.) CARACTERÍSTIQUES GENERALS

En aquests límits de placa una de les dues plaques, la més densa, s'enfonsa (subdueix) per sota de l'altra seguint un pla anomenat **PLA DE BENIOFF**. El material

enfonsat arriba fins al mantell i és assimilat per aquest. Degut a aquesta subducció es produeix un gran augment de la pressió i la temperatura que originen importants fenòmens de sismicitat i vulcanisme.

La subducció sempre afecta amb plaques amb vora oceànica, que es poden enfonsar, per la seva major densitat, per sota d'una altra placa amb vora oceànica o continental.

Les zones de subducció en la seva part externa es caracteritzen per presentar **FOSES OCEÀNIQUES** i **ARCS VOLCÀNICS**.

Les **fosses oceàniques** són les zones més profundes del fons oceànic i tenen una morfologia en forma de "V". La fossa més profunda és la de Les Marianes amb 11.033 metres.

Els **arcs volcànics** estan produïts per l'ascensió del magma i la seva posterior solidificació en superfície de forma **paral·lela** a la fossa.

b.) **MAGMATISME ASSOCIAT**

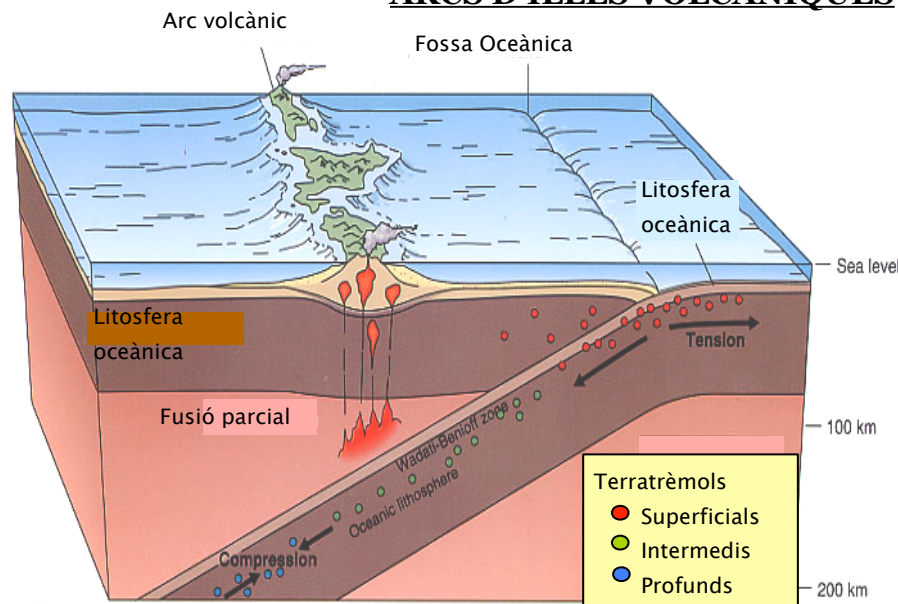
Degut a la gran quantitat de calor generat en la subducció es produeix la fusió parcial de la part superior de la placa que subdueix. El magma resultant és **BASÀLTIC** (de tipus CALCOALCALÍ) que quan arriba a la superfície forma volcans de tipus **ANDESÍTIC**.

c.) **SISMICITAT**

Els focus dels terratrèmols es disposen seguint el **Pla de Benioff**, per tant trobem terratrèmols de focus superficial, intermedi i profund (fins a uns 700 km com a màxim).

d.) **TIPUS DE SUBDUCCIÓ**

PLACA OCEÀNICA CONTRA PLACA OCEÀNICA **ARCS D'ILLES VOLCÀNQUES**



Quan dues plaques amb vora oceànica entren en col·lisió una de les dues, lleugerament més densa subdueix per sota de l'altra seguint el Pla de Benioff.

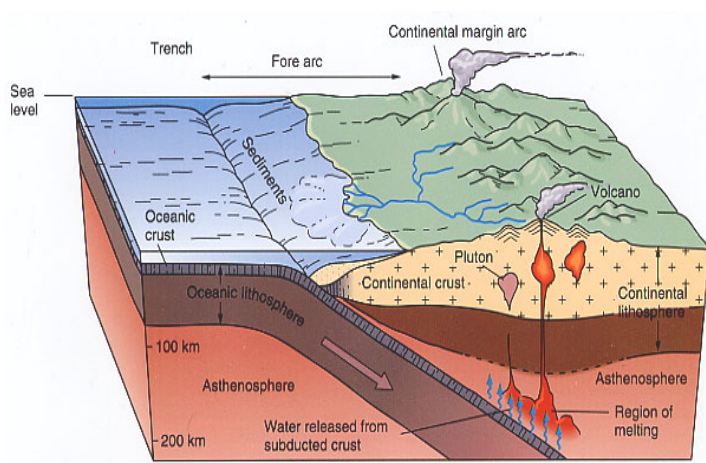
Els magmatisme generat origina volcans submarins paral·lels a la fossa que quan sobresurten per sobre del nivell del mar donen lloc a:

ARCS D'ILLES VOLCÀNQUES

Per ex:

- Oest del Pacífic: Japó, Filipines, Marianes...
- Oest de l'Atlàntic: Antilles, Illes Sandwich del Sud.

PLACA OCEÀNICA CONTRA PLACA CONTINENTAL SERRALADES PERIOCEÀNIQUES



La placa més densa (amb escorça oceànica) subdueix per sota de la continental (més lleugera) i s'originen: **SERRALADES PERIOCEÀNIQUES**

Els sediments, que no poden subduir, provoquen un engrossiment de l'escorça continental donant lloc a la formació de serralades paral·leles a la costa.

El magma originat pot cristal·litzar en profunditat originant plutons granítics o en la superfície donant lloc a un arc volcànic amb vulcanisme explosiu de tipus andesític sobre la serralada perioceànica.

Per ex: Els Andes, La Sierra Madre, Les Muntanyes Rocalloses

4.2.2.- ZONES DE COL·LISIÓ. OROGENS DE COL·LISIÓ

a.) CARACTERISTIQUES GENERALS

Quan col·lisionen dues plaques amb vora continental cap de les dues pot subduir per la seva baixa densitat, per tant els dos blocs continentals s'encavalquen al desaparèixer l'oceà que els separava, originant-se una **SERRALADA INTRACONTINENTAL**.

Les estructures que es formen en l'orogen depenen de la forma dels marges continentals. Si la vora és irregular les zones que col·lisionen primer experimenten les majors deformacions originant encavalcaments i metamorfisme.

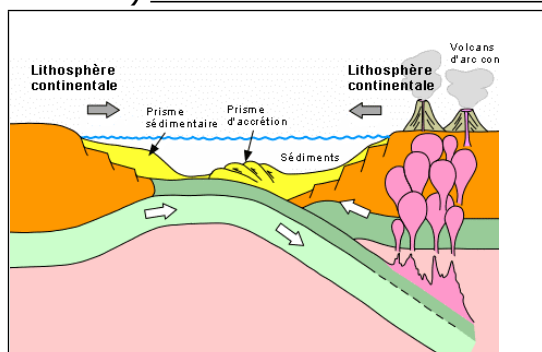
b.) MAGMATISME ASSOCIAT

El vulcanisme és escàs i els magmes s'emplacen a l'interior de l'escorça formant **roques intrusives** de tipus **granític**

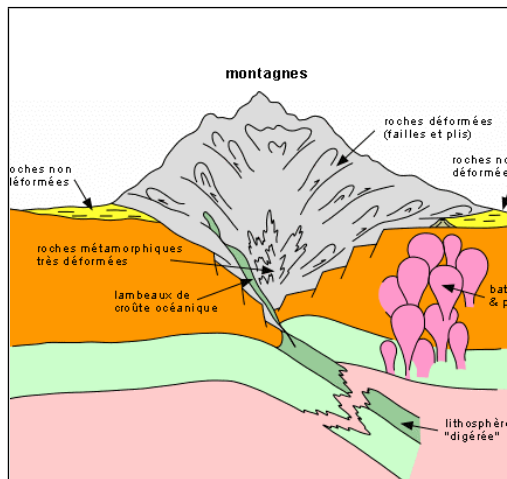
c.) SISMICITAT

Terratrèmols aïllats i de profunditat superficial.

d.) ETAPES EN L'EVOLUCIÓ D'UN OROGEN DE COL·LISIÓ



TANCAMENT PROGRESSIU D'UNA CONCA OCEÀNICA PER SUBDUCCIÓ



FORMACIÓ DE L'OROGEN

- Formació de mantell i encavalcaments.
- Metamorfisme.
- Formació de les arrels de les muntanyes per l'apilament dels mantells i la sobrecàrrega tectònica.

4.3.- LÍMITS TRANSFORMANTS, PASSIUS o CONSERVATIUS

a.) CARACTERÍSTIQUES GENERALS

Són límits de placa en els que ni es crea ni es destrueix litosfera. Són fractures en les que les plaques es desplacen lateralment en sentits oposats.

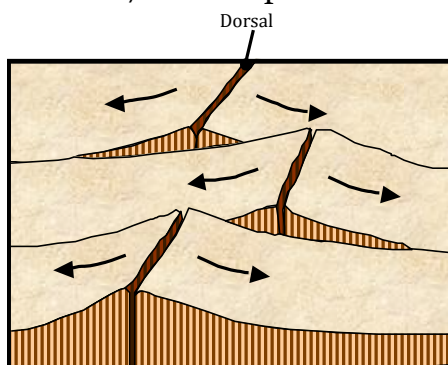
Les falles transformants s'anomenen així ja que transformen un límit de placa en un altre (que pot ser del mateix tipus o diferent) i es donen habitualment en les dorsals, més o menys perpendicularment a aquestes.

b.) MAGMATISME ASSOCIAT

En aquest tipus de límit és escàs. Si existeix dona lloc a BASALTS i GABRES (de la sèrie ALCALINA)

c.) SISMICITAT

Els terratrèmols tenen focus de profunditat intermèdia. Els hipocentres es detecten a uns 70 km de profunditat màxima.



Falla de San Andrés

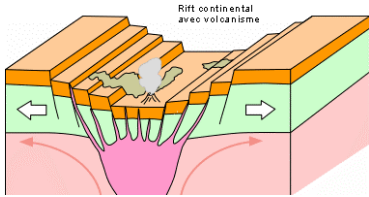
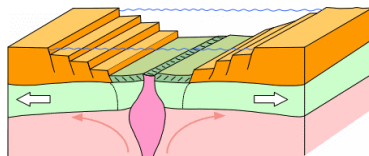
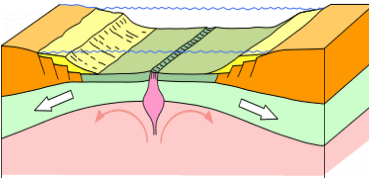
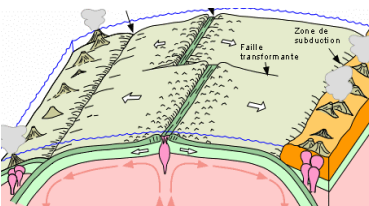
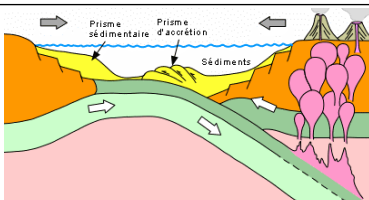
5.- ORIGEN DEL MOVIMENT DE LES PLAQUES

Existeixen diverses teories per explicar el moviment de les plaques, però la majoria es basen en moviments d'origen tèrmic.

Teoria dels corrents de convecció: Degut a les elevades temperatures del mantell, aquest es pot deformar de forma plàstica, produint-se en aquesta zona ascensos verticals de material a elevades temperatures que arribarien fins a zones superficials de la litosfera (**dorsals oceàniques**), posteriorment aquest material es refredaria i tornaria a incorporar-se a les zones profundes del mantell (a les **zones de subducció**).

6.- CICLE DE WILSON

El cicle de Wilson és un model idealitzat dels processos implicats en la tectònica

FASES DEL CICLE DE WILSON	
1. Fragmentació de la litosfera continental i formació d'una fossa tectònica o vall de rift. Exemple actual: Rift de l'Àfrica oriental. Si l'evolució continua, en el ,futur Àfrica oriental es convertirà en una subplaca separada de l'actual per un nou oceà. Actualment existeixen edificis volcànics i dipòsits de colades de lava que omplen les valls.	
2. Inundació per aigua marina de la vall i formació d'un petit oceà. Exemple actual: Mar Roig.	
3. Creació de litosfera oceànica que provoca l'expansió de l'oceà i la separació dels continents Exemple actual: Oceà Atlàntic i Oceà Índic.	
4. Subducció de la litosfera oceànica en un límit de placa amb formació d'arcs volcànics. Exemple actual: Oceà Pacífic. En aquest cas l'oceà està disminuint a causa de la subducció, és a dir, s'està tancant. La seva subducció origina les Serralades Rocalloses i dels Andes i els arcs d'illes del Pacífic	
5. El gran oceà s'ha transformat en una petita conca oceànica. Exemple actual: Mar Mediterrani.	
6. Col·lisió continental i , per tant, desaparició de la zona de subducció i de la conca oceànica amb naixement d'una serralada intracontinental. Exemple actual: Himàlaia (per col·lisió de la placa Índia contra l'Asiàtica), Alps, Pirineus, etc.	