

# Introducción a la geología e ingeniería geológica



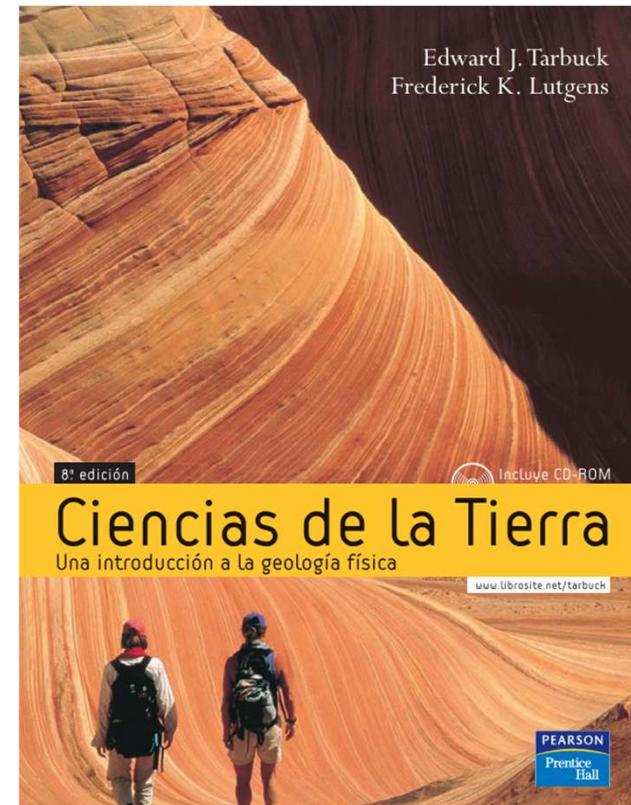
Mecánica de Suelos y Geología  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

# Lectura obligatoria (examen)



- Tarbuck

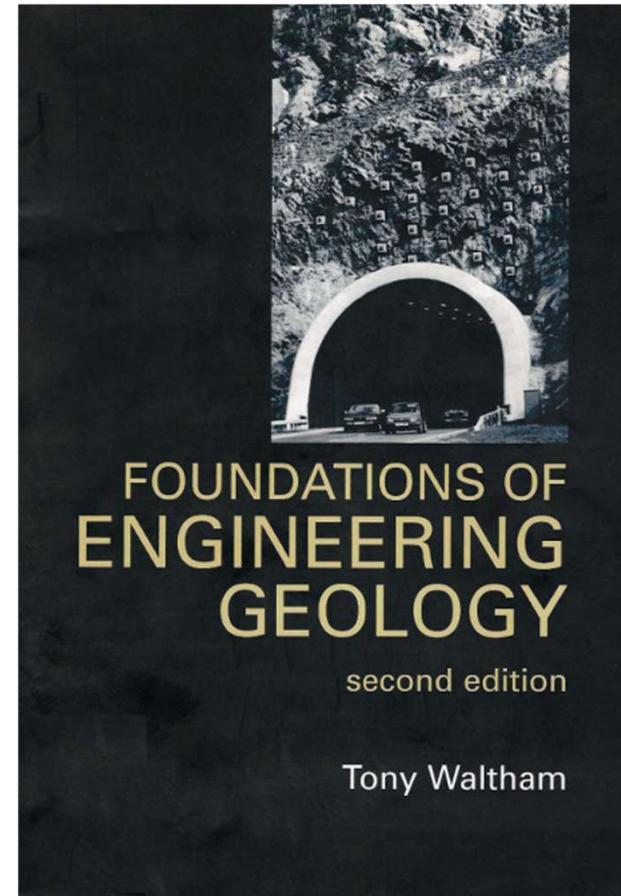
- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| – Cap 3 – minerales            | 78-80 y 88-93     |
| – Cap 4 – rocas ígneas         | 108-109 y 117-125 |
| – Cap 6 – meteorización        | 176-184 y 190-191 |
| – Cap 7 – rocas sedimentarias  | 202-214           |
| – Cap 8 – rocas metamórficas   | 228-232 y 237-241 |
| – Cap 10 – deformación corteza | 284 – 294         |
| – Cap 17 – aguas subterráneas  | 481-487 y 491-493 |



# “Lectura” opcional



- **Waltham**
  - 2 igneous rocks
  - 3 surface processes
  - 4 sedimentary rocks
  - 5 metamorphic rocks
  - 6-7 geological structures, maps, sections
  - 13 weathering and soils
  - 14 floodplains and alluvium
  - 15 glacial deposits
  - 18 groundwater
  - 22 geophysical surveys
  - 24-25 rock strength, rock mass strength
  - 29 subsidense on limestone
  - 32-33 slope failure /water in landslides
  - 37 understanding ground conditions
  - 40 Stone and aggregate



# Índice



- **Geología e ingeniería geológica**
- Planeta tierra y tiempo geológico
- Tectónica de placas
- Minerales
- Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



# Geología e Ingeniería geológica

**La Geología es una ciencia natural cuyo objeto de estudio es el planeta Tierra.** Estudia desde sus orígenes, composición, estructura y forma, hasta los procesos internos y externos involucrados en su evolución.

**La Ingeniería Geológica o Geología Aplicada a la Ingeniería estudia las propiedades “ingenieriles” de los suelos, las rocas y macizos rocosos en las obras del hombre.**

As a civil engineer, you should recognize the limitations of your own education and experience, especially with regard to geology, and when appropriate, be prepared to call upon the services of a professional engineering geologist.

y viceversa...

# Geología e Ingeniería geológica



## Tengo que “llamar” a un geólogo

- Comprender el paisaje actual y su evolución
- Explotación de un recurso subterráneo
- Avance/retroceso de un glaciar/deserto



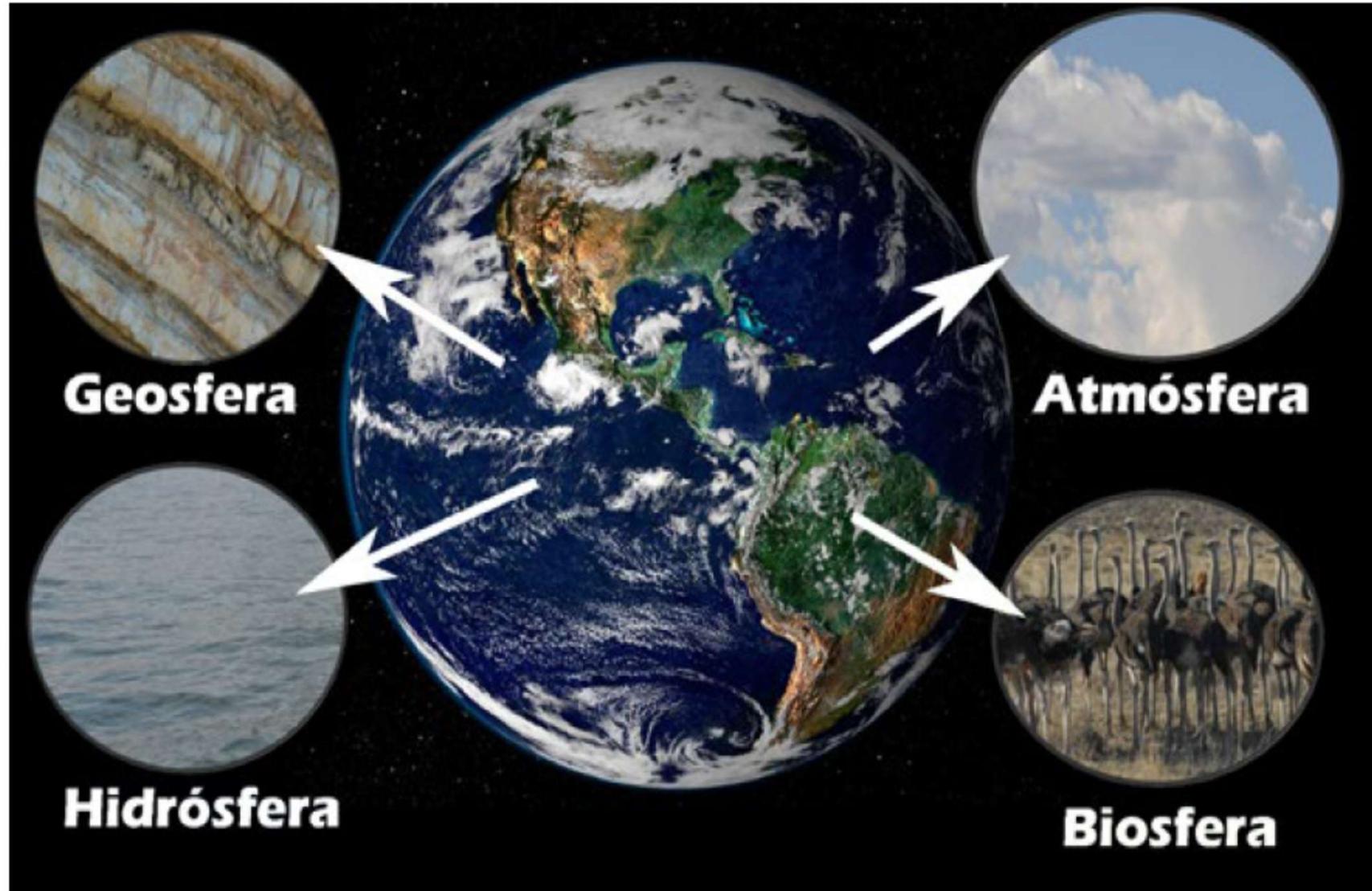
## Tengo que “llamar” a un ingeniero

- Diseñar fundaciones (bases, pilotes)
- Construir un terraplén
- Sostener una excavación



Y muchas veces tengo que “llamar” a los dos (u otros expertos)

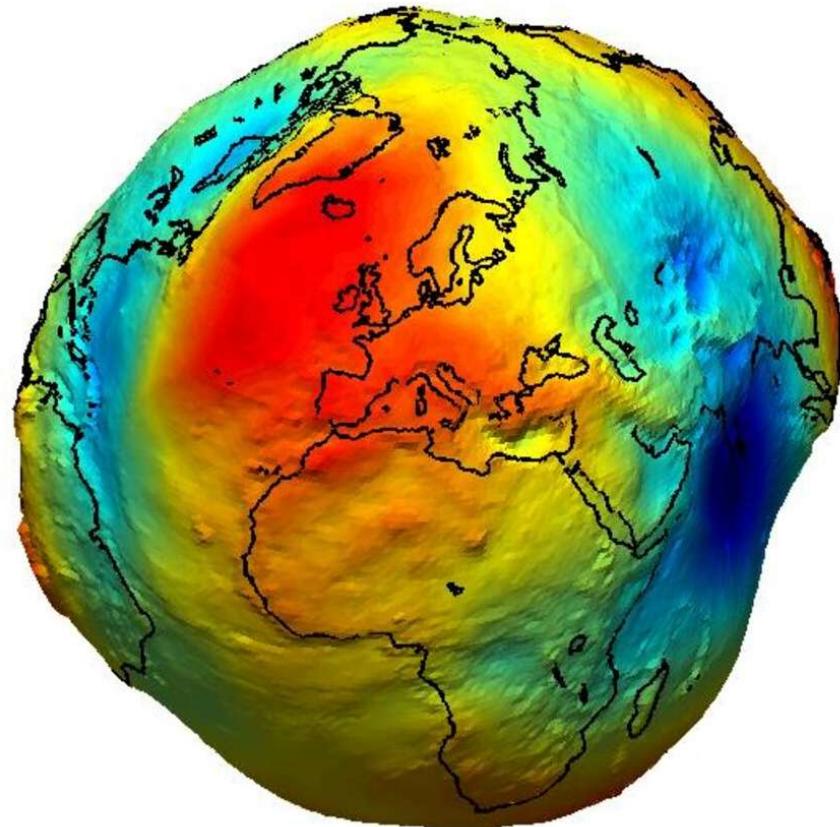
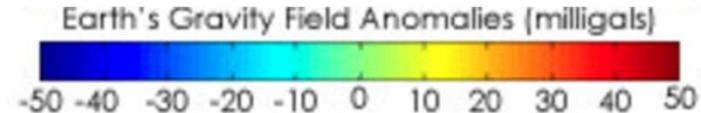
# Planeta tierra y tiempo geológico



# Planeta tierra: Geoide



- El Geoide es un cuerpo casi esférico (elipsoide) que contempla un achatamiento en polos y un ensanche en el Ecuador.
- El Geoide se determina a partir de mediciones del campo gravitatorio.
- El potencial gravitatorio se mantiene constante en la superficie del Geoide.



[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2008/05/Earth\\_s\\_geoid\\_as\\_seen\\_by\\_GOCE](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/05/Earth_s_geoid_as_seen_by_GOCE)

# Planeta tierra y tiempo geológico



## • Atmósfera (gas)

- Filtro radiación solar y cósmica
- Regulación de la temperatura
- Gases indispensables para la vida

## • Hidrosfera (líquido)

- Agua en todos sus estados físicos
- Regulación del clima
- Modelado del relieve
- Desarrollo de seres vivos

TABLA 1.  
GASES DE LA ATMÓSFERA

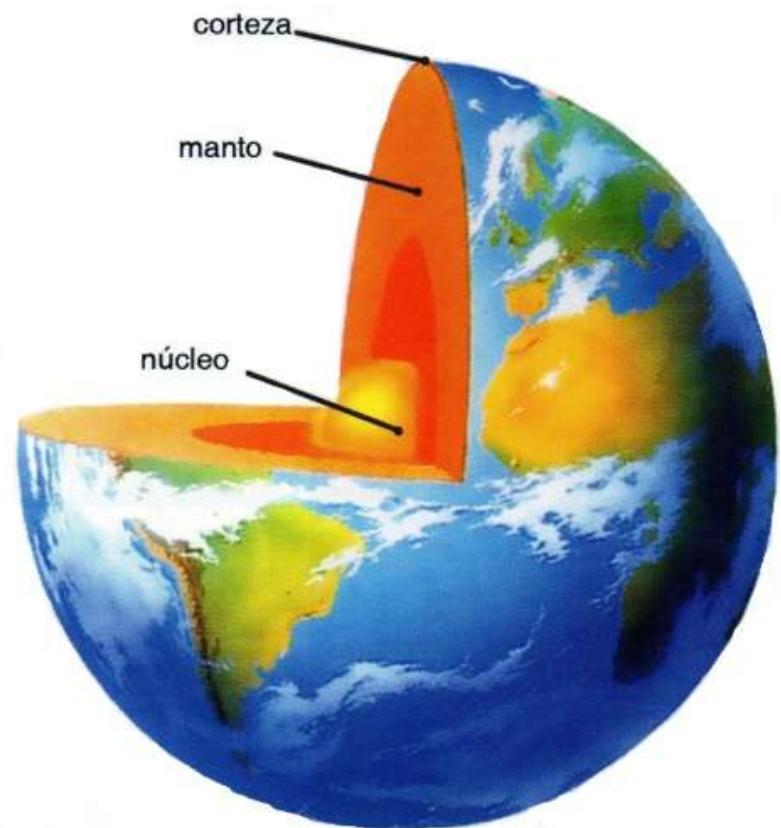
Gas	Fórmula química	Porcentaje (por volumen)
<b>Gases permanentes</b>		
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78,08
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20,95
Argón	Ar	0,93
Neón	Ne	0,0018
Helio	He	0,0005
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0,00006
Xenón	Xe	0,000009
<b>Gases variables</b>		
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	0 a 4
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0,036
Metano	CH <sub>4</sub>	0,00017
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	0,00003
Ozono	O <sub>3</sub>	0,000004
Partículas (polvo, etc.)		0,000001
Clorofluorocarbonos (CFC)		0,00000002

<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>

# Planeta tierra y tiempo geológico



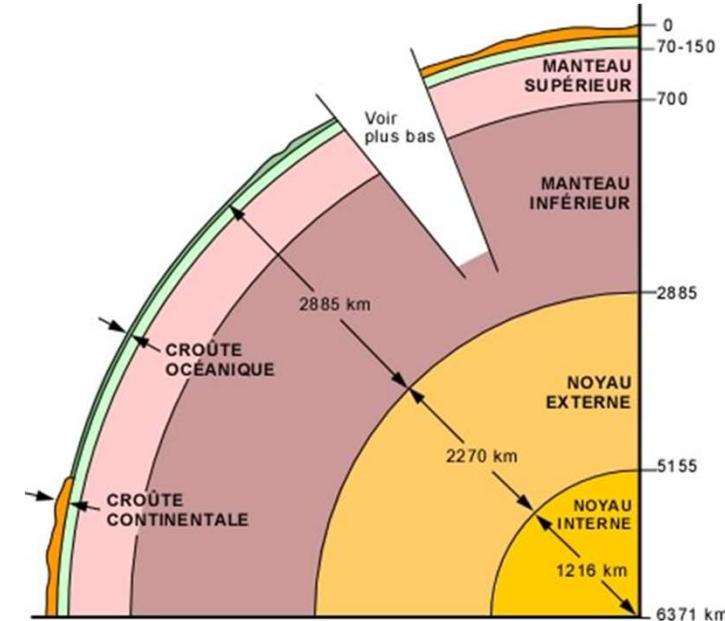
- **Geósfera (sólido)**
  - Capas que forman su estructura interna
  - Rocas, minerales, sedimentos
- **Biósfera (vida)**
  - Reino animal y vegetal
  - Organismos



# Planeta tierra y tiempo geológico



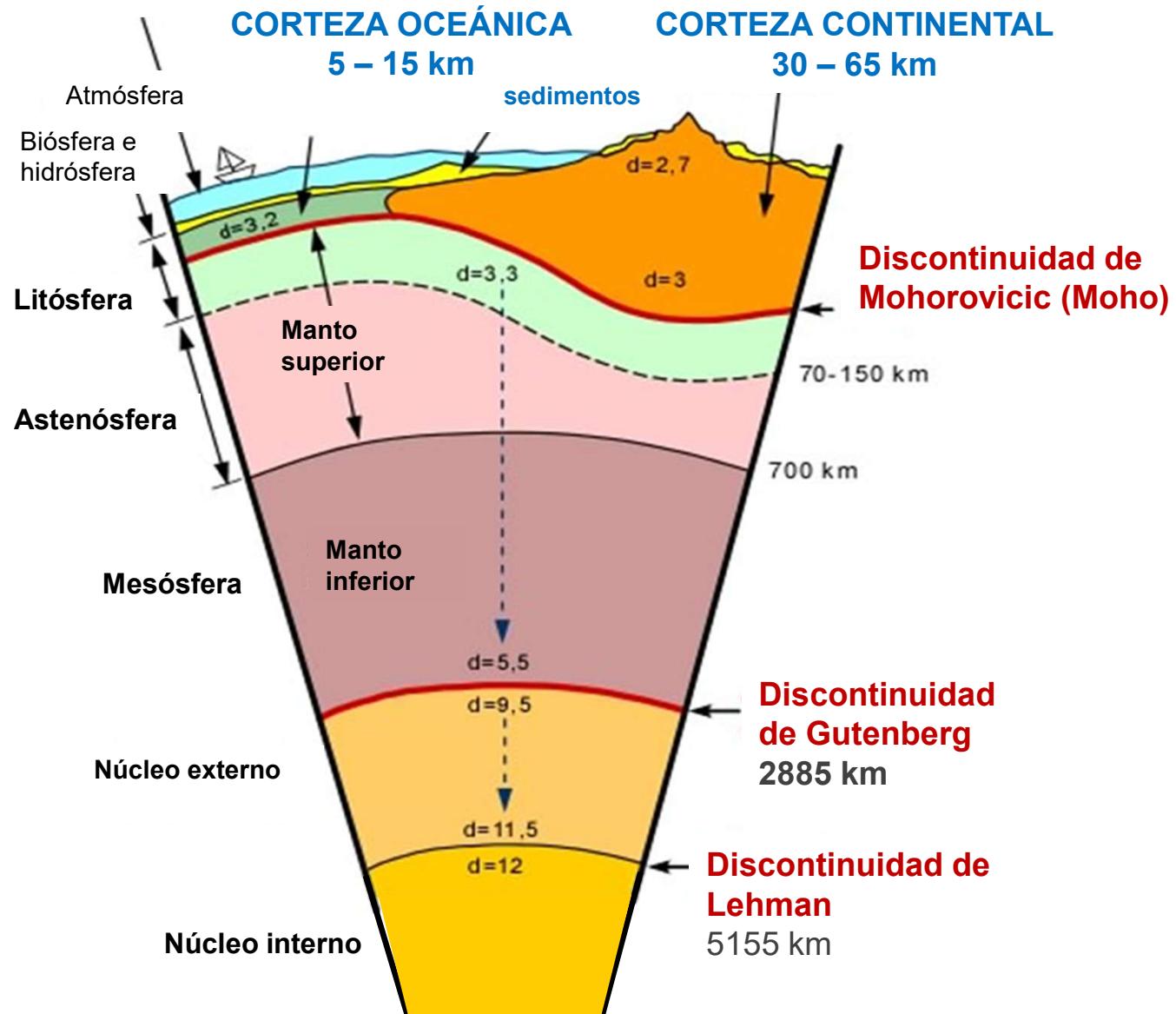
- Estructura interna
  - **Corteza** (oceánica y continental)
  - **Manto** (superior e inferior)
  - **Núcleo** (interno y externo)



Litosfera: corteza y parte del manto



# Planeta tierra y tiempo geológico



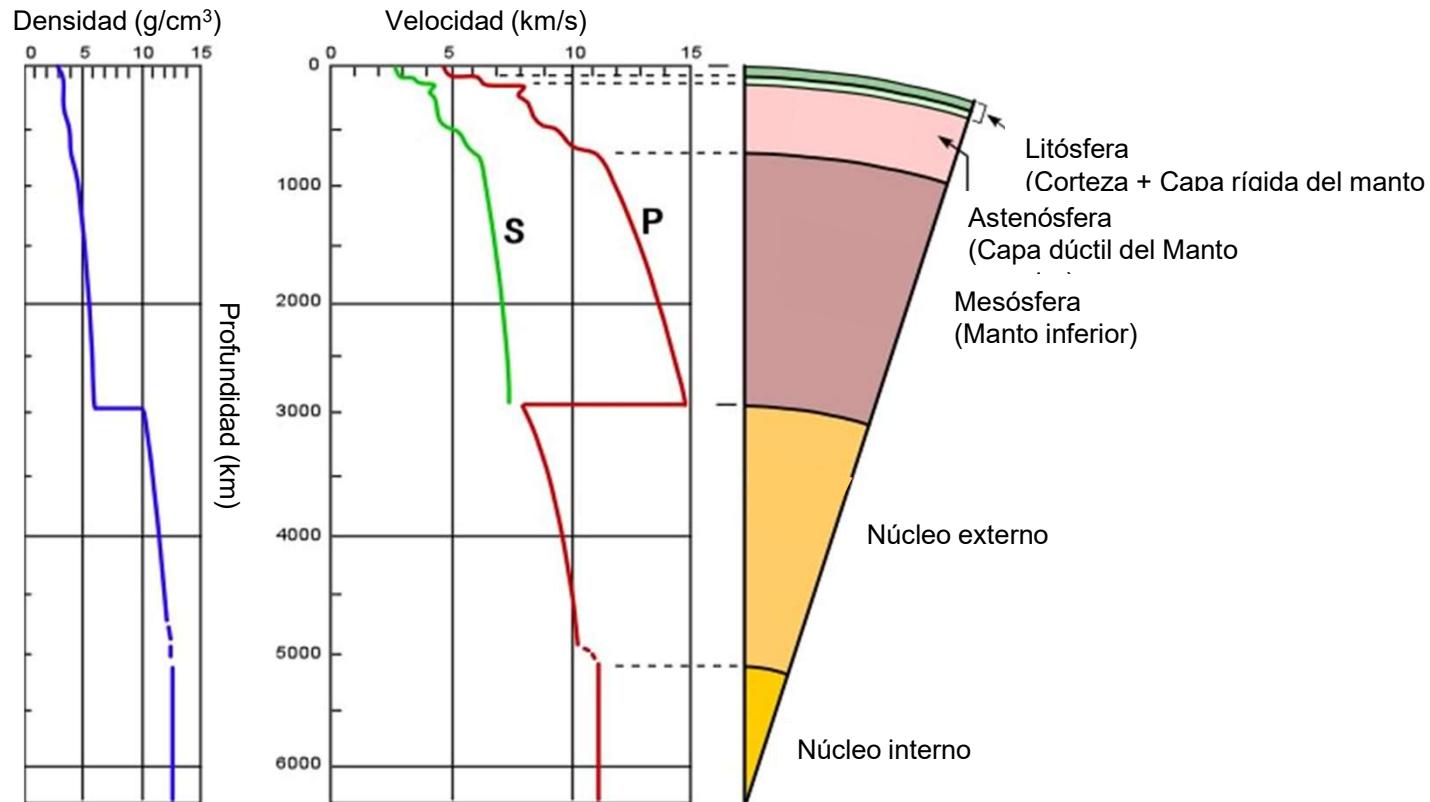
NOTA:  $d=\gamma$  (peso unitario)

Modificado de [http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete\\_terre.html](http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html)

# Planeta tierra y tiempo geológico



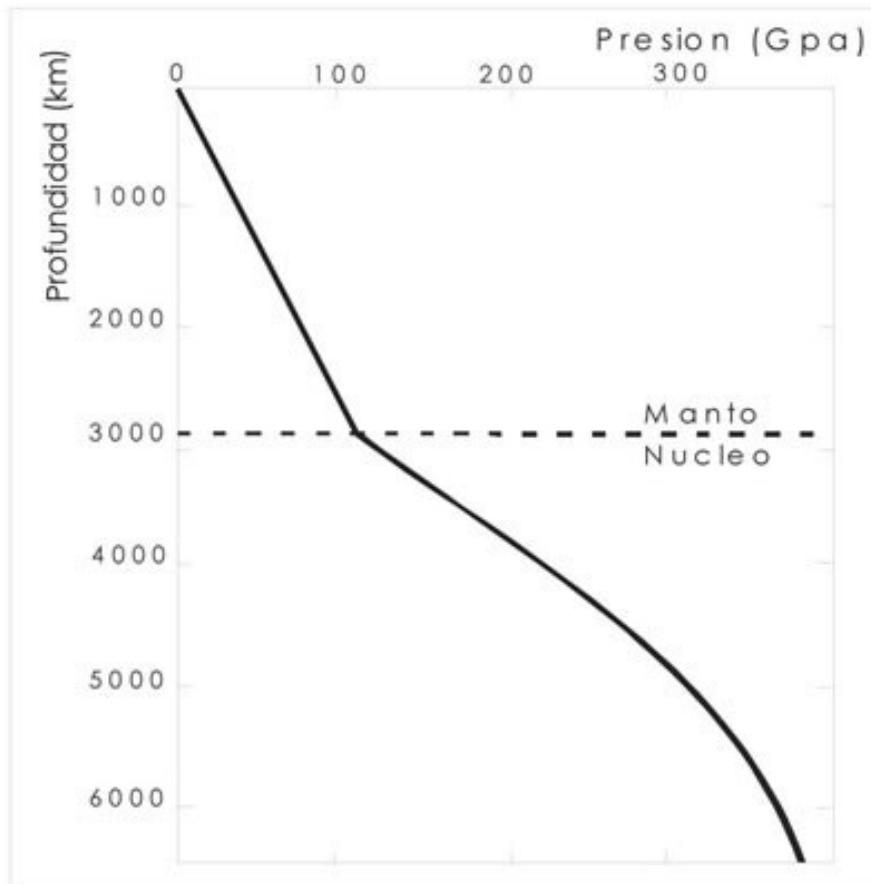
- Velocidades P y S (terremotos), estado y densidad de materia



# Planeta tierra y tiempo geológico

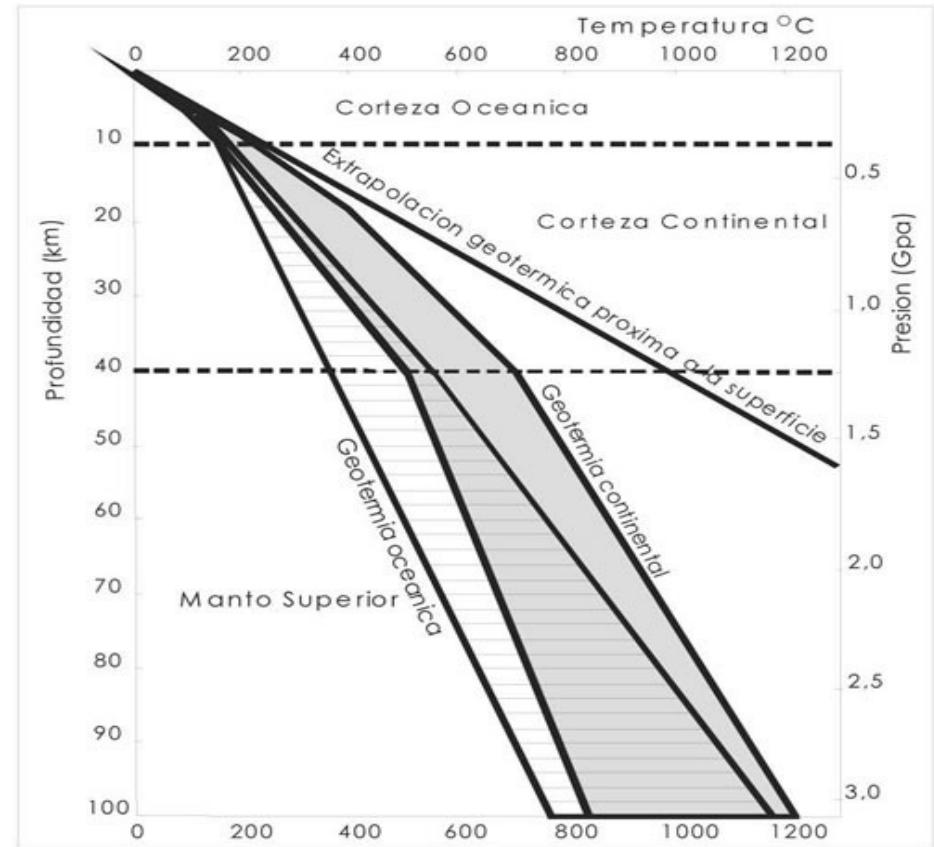


## Presión total



[http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/01.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/01.htm)

## Temperatura



Rango de variación del gradiente geotérmico en áreas oceánicas (rayado horizontal) y en áreas continentales (gris), hasta los 100 km  
([http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/01.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/01.htm))

# Planeta tierra y tiempo geológico



- **Precámbrico:** fósiles más antiguos~3500 Ma. Organismos unicelulares.
- **Paleozoico:** aparición de organismos multicelulares, gran diversificación biológica en mares. Pérmico: gran extinción biológica.
- **Mesozoico:** era de los reptiles. Apogeo de los dinosaurios y extinción a fines del Cretácico.
- **Cenozoico:** diversificación de aves y mamíferos.

Aparición del género *Homo*~2,5Ma y diversificación en el Cuaternario.

**Edad de la tierra: aprox. 4.500 Ma**

**Cuaternario: paisaje actual**

# Planeta tierra y tiempo geológico



- Radiactividad (1896): permite “datar” los sucesos geológicos
- Los procesos geológicos requieren (en general) enormes lapsos de tiempo (Ma)
- Por ejemplo, una roca que haya sido fechada en 10 Ma puede considerarse “joven”

ESCALA DEL TIEMPO GEOLÓGICO

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD ABSOLUTA millones de años
CENOZOICA	Cuaternario	Holoceno	0,01
		Pleistoceno	1,8
		Plioceno	5,0
		Mioceno	22,5
	Terciario	Oligoceno	37
		Eoceno	55
		Paleoceno	65
MESOZOICA (Secundaria)		Cretácico	141
		Jurásico	195
		Triásico	230
PALEOZOICA (Primaria)		Pérmico	280
		Carbonífero	345
		Devónico	395
		Silúrico	435
		Ordovícico	500
PRECÁMBRICO		Cámbrico	570
			4 600

# Índice

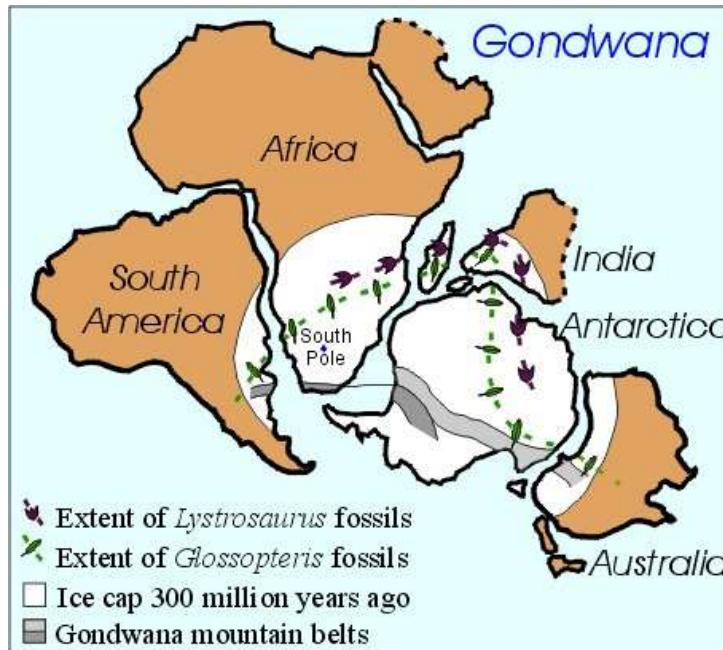


- Planeta tierra y tiempo geológico
- **Tectónica de placas**
- Minerales
- Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas

# Tectónica de placas



- **Deriva continental:** Los continentes se mueven hace Ma
- Evidencias paleontológicas, de tipos de roca y semejanzas estructurales



Orógeno y glaciación de Gondwana  
(Pérmino - Triásico)

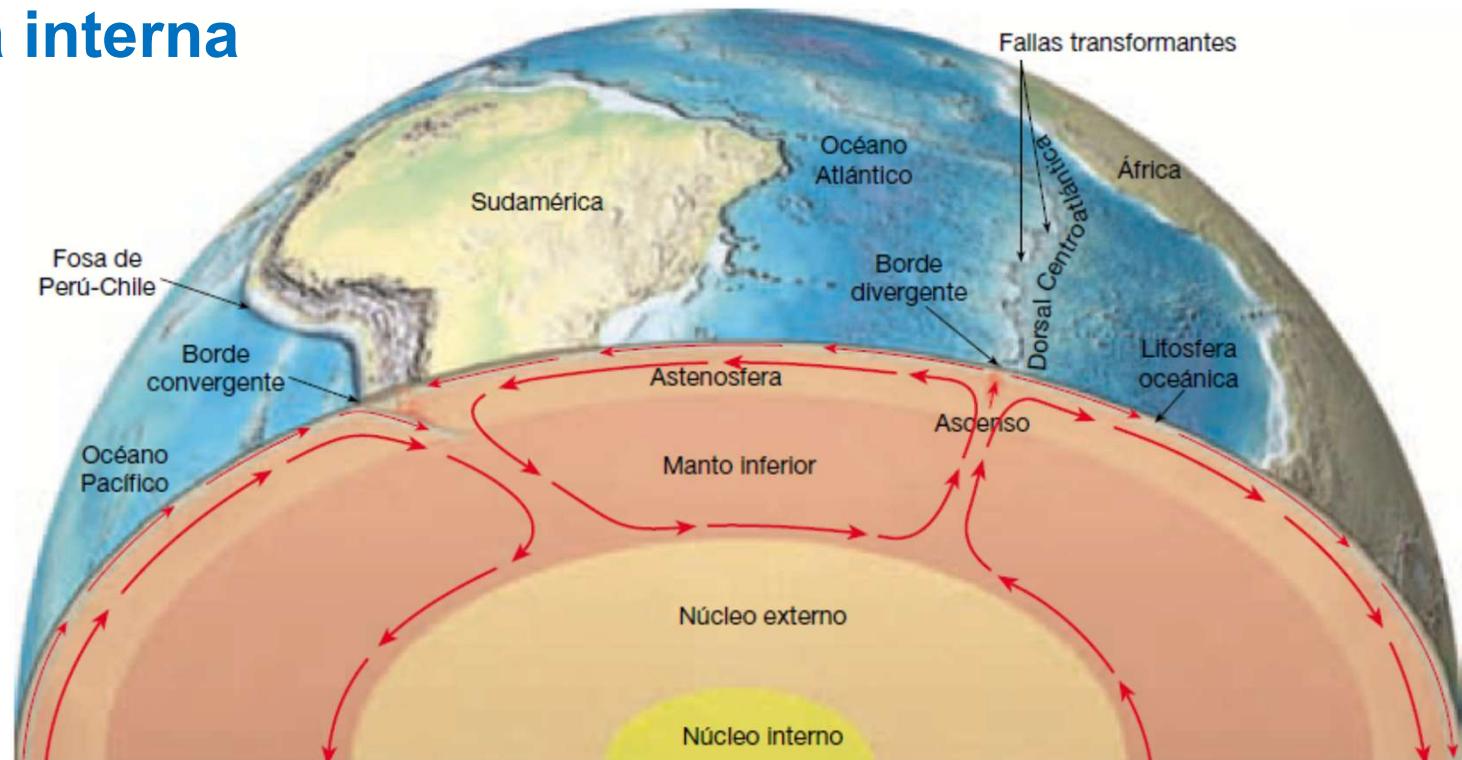


Orógeno de Laurentia (Jurásico)  
Concordancia entre cordilleras

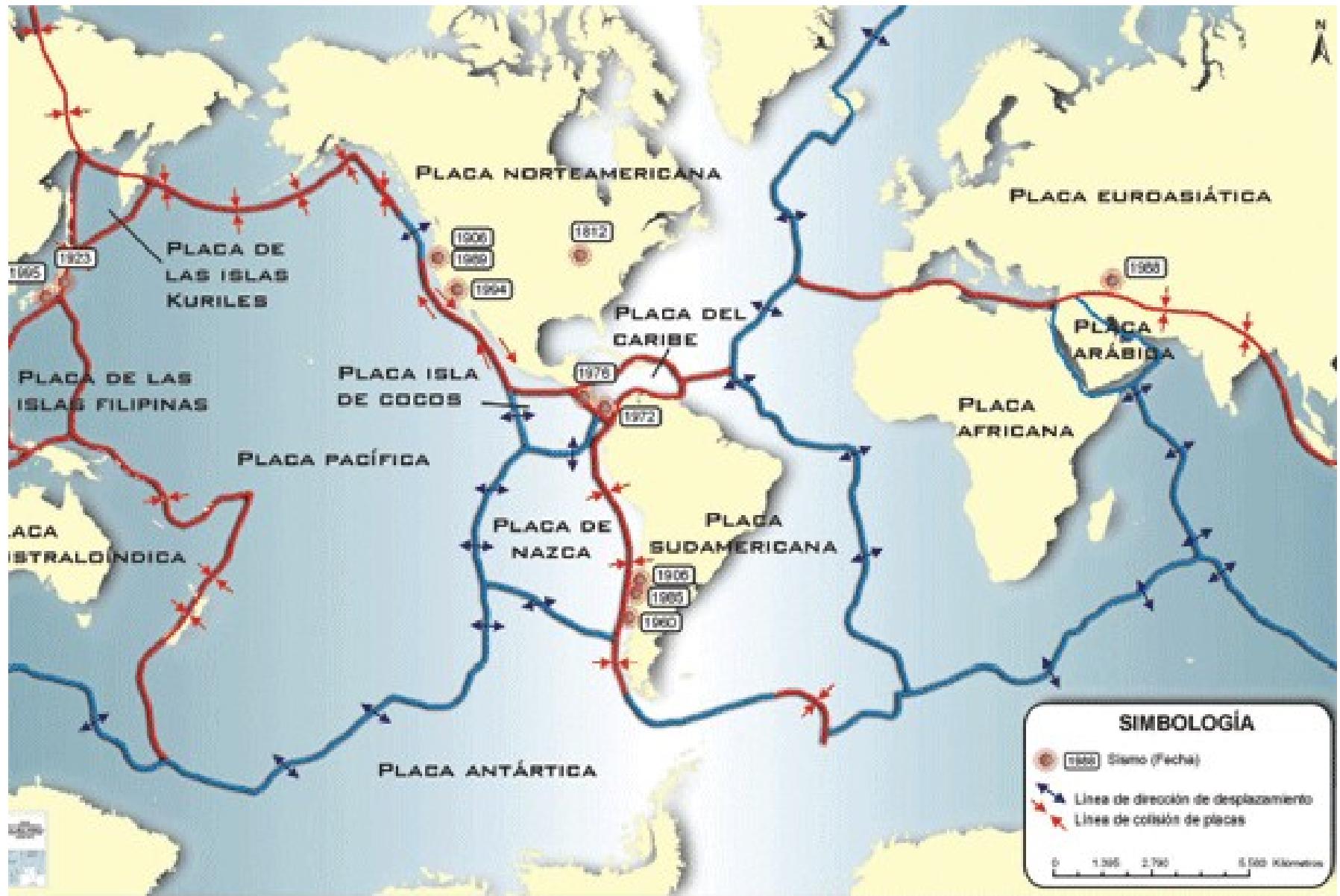
# Tectónica de placas



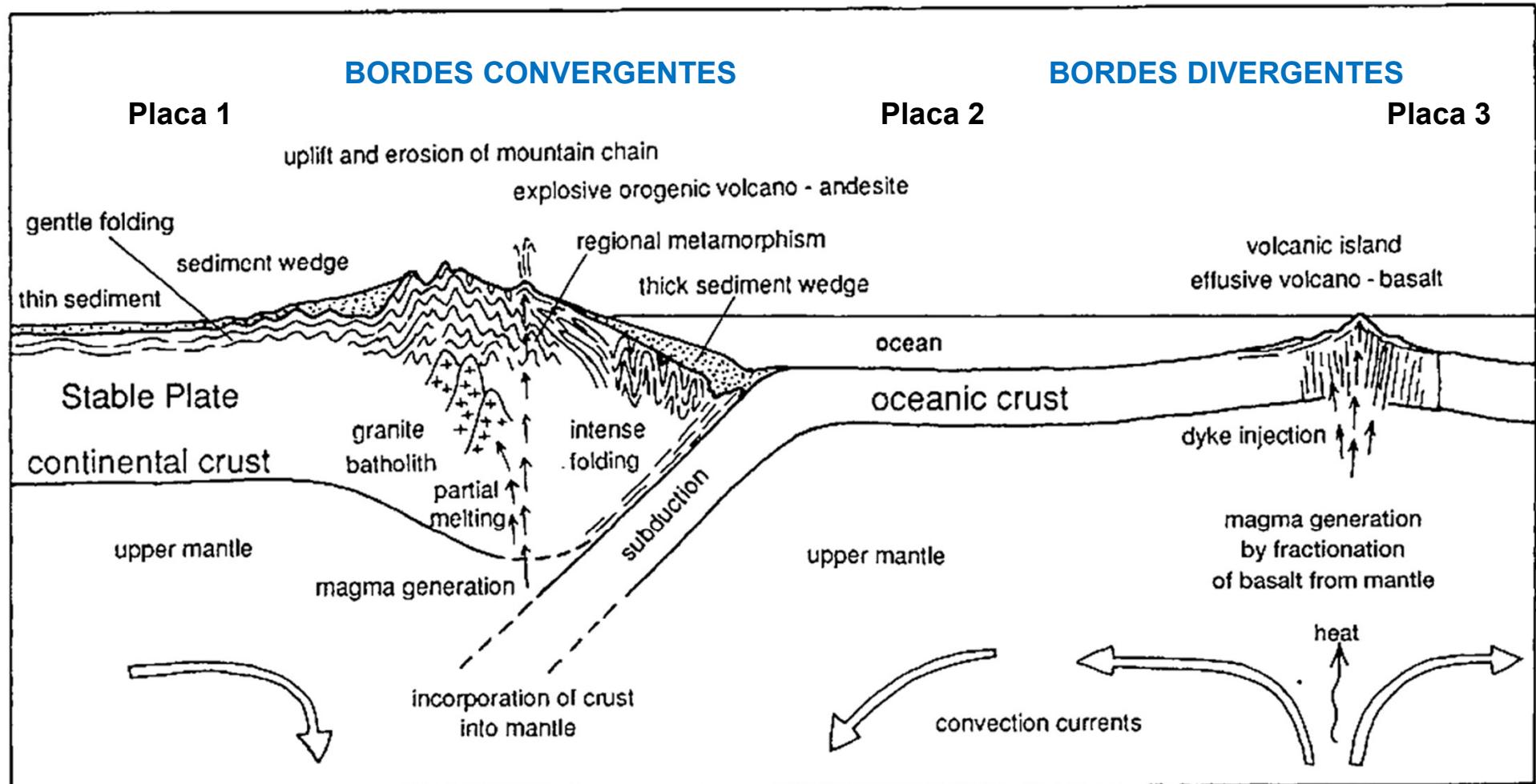
- Desarrollo entre 1960-1970
- Teoría que vincula el movimiento convectivo del manto con el movimiento de las placas litosféricas (tectónicas) ↔ **Geodinámica interna**



# Tectónica de placas



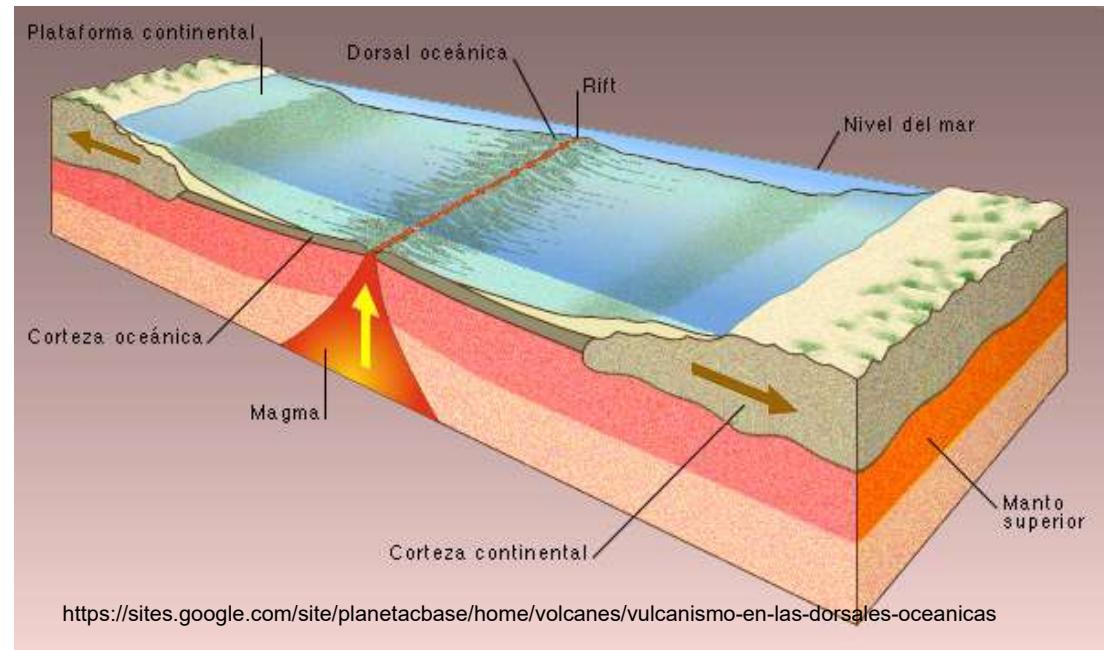
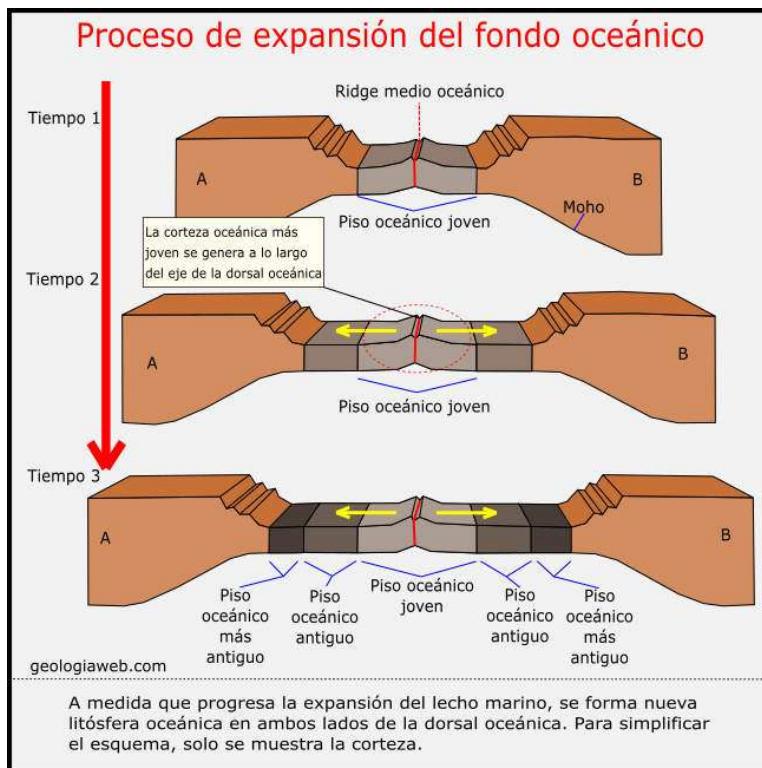
# Tectónica de placas



# Tectónica de placas



- **Márgenes divergentes:** dorsales oceánicas
- Ascenso y cristalización de magma → generación de corteza oceánica

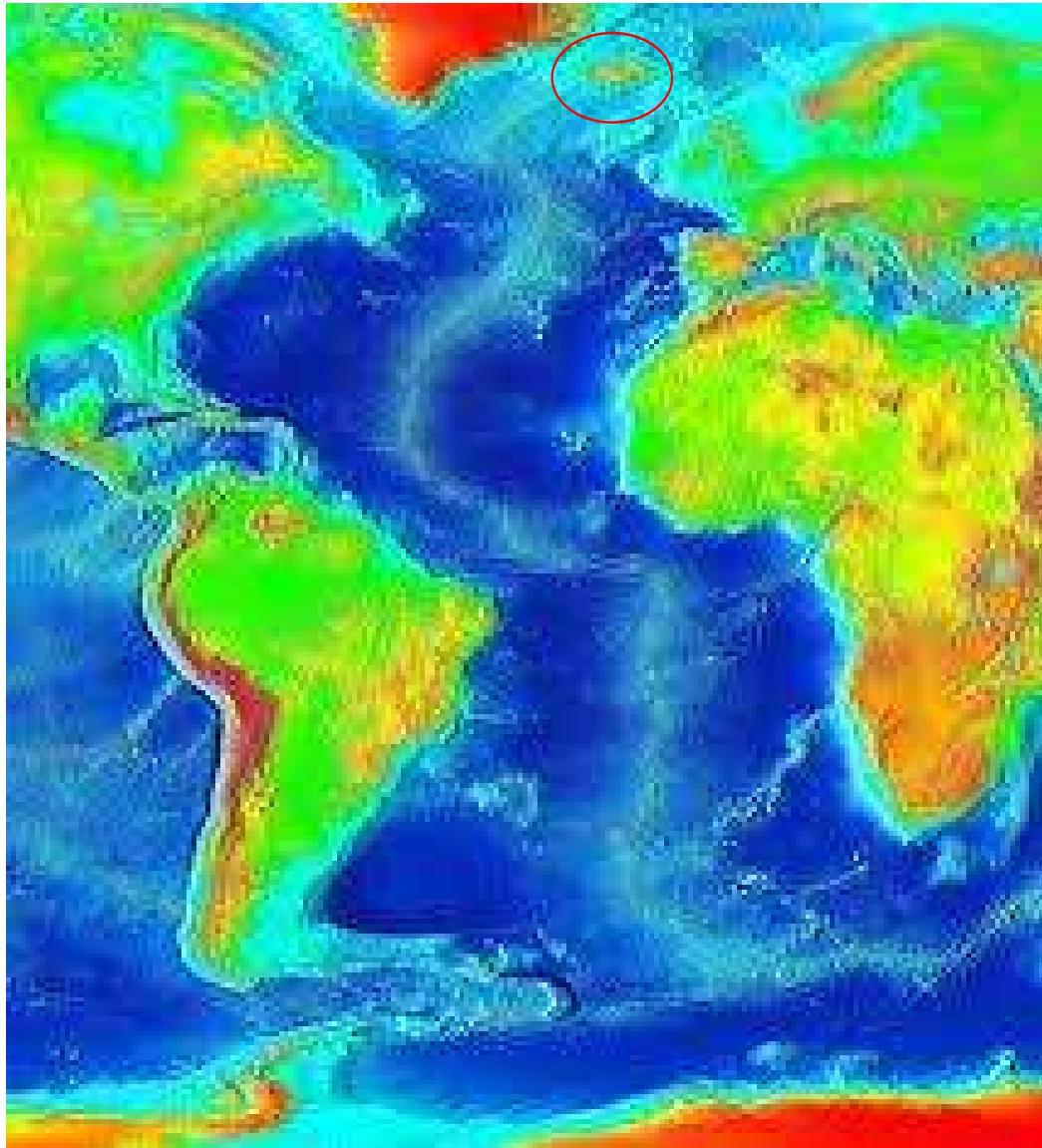


# Tectónica de placas



## Dorsales oceánicas

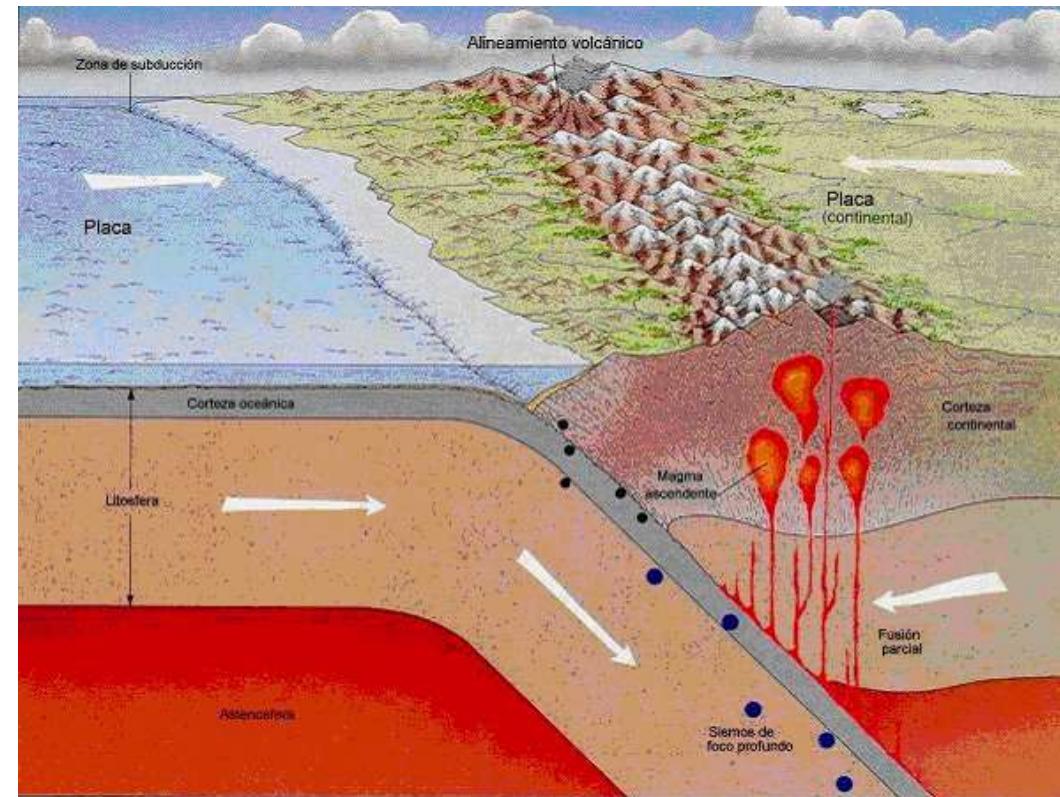
- Islandia: volcanes “basálticos” y fuentes geotermales



# Tectónica de placas



- **Márgenes convergentes:** subducción
- Formación de montañas, intensa actividad volcánica y sísmica



# Tectónica de placas

- **Márgenes convergentes oceánicos:** Arcos de islas



<https://sites.google.com/site/planetacbase/home/volcanes/vulcanismo-en-las-zonas-de-subduccion>



<https://www.antipodas.net/blog/islas/islas-aleutianas-y-peninsula-de-kamchatka-alaska.php>

# Tectónica de placas



- **Márgenes transcurrentes:** no se genera ni destruye corteza oceánica
- Principalmente en dorsales oceánicas, algunas en corteza continental (ej.: falla de San Andrés)
- Zonas de fracturas paralelas
- Planos de fallas ~ verticales
- Desplazamiento de bloques paralelo a la superficie
- Intensa actividad sísmica



# Tectónica de placas

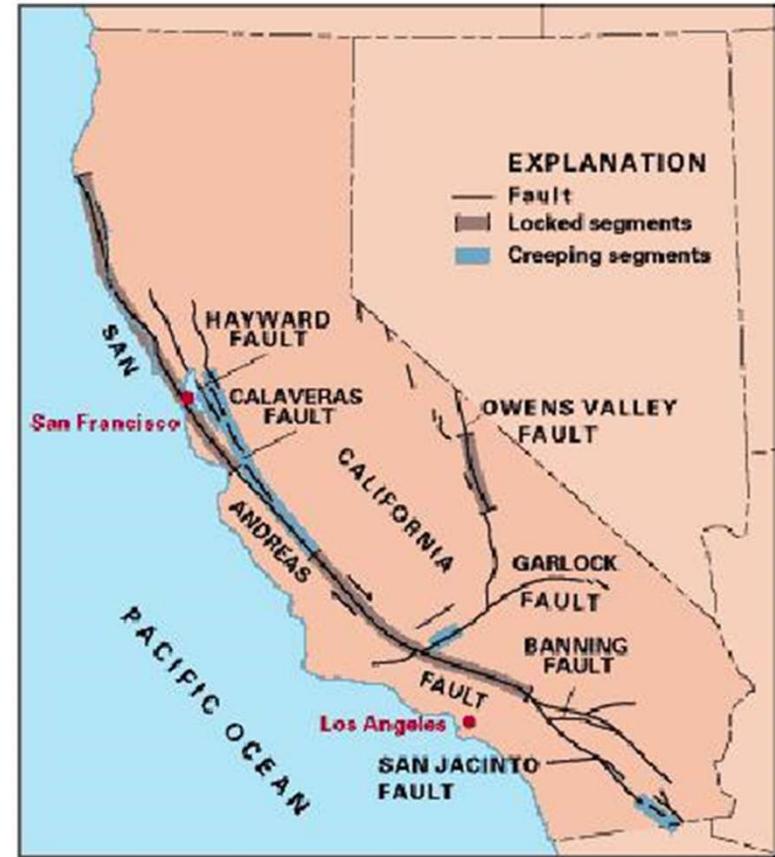


## Márgenes transcurrentes en corteza continental

- Falla de San Andrés (intensa actividad sísmica)



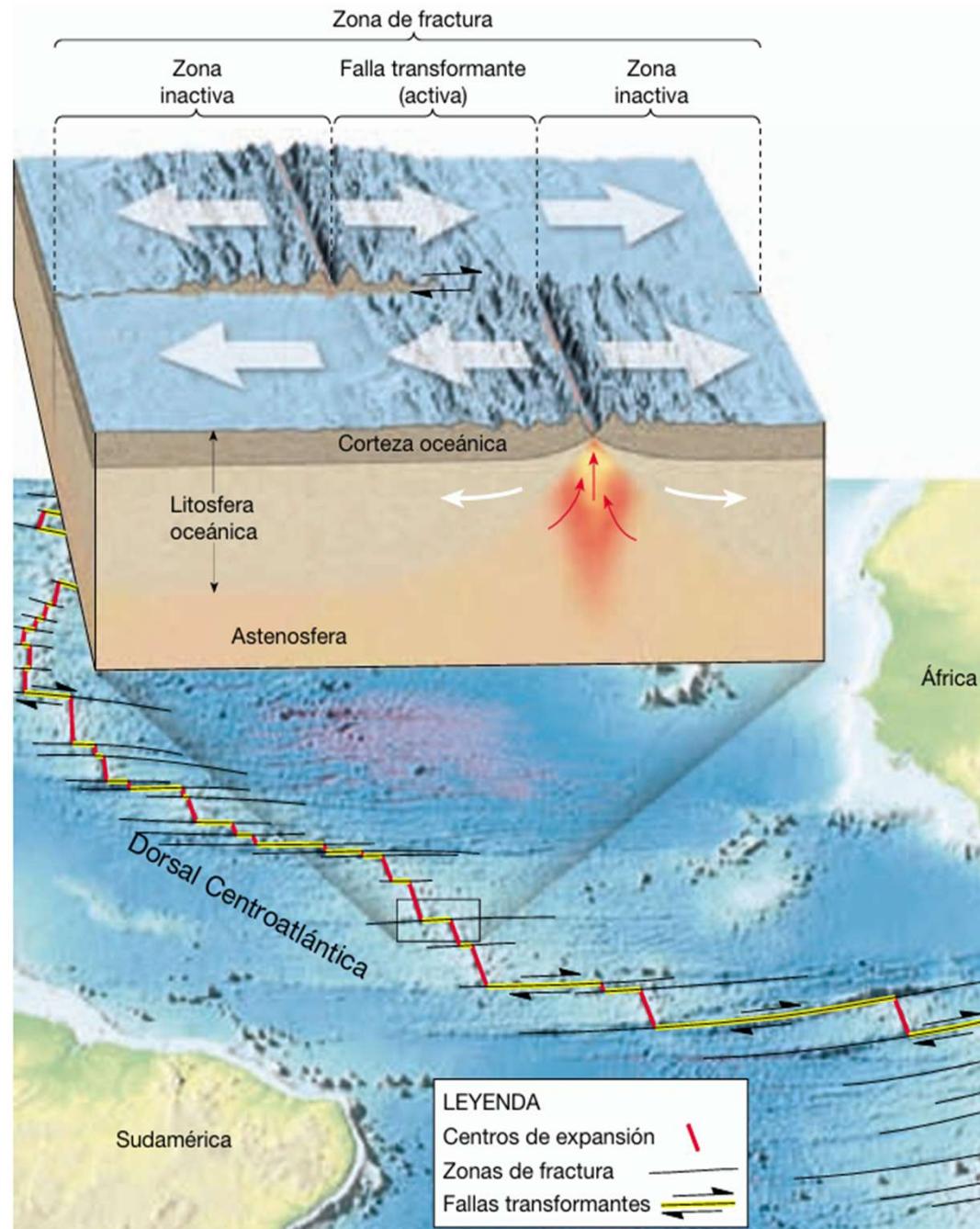
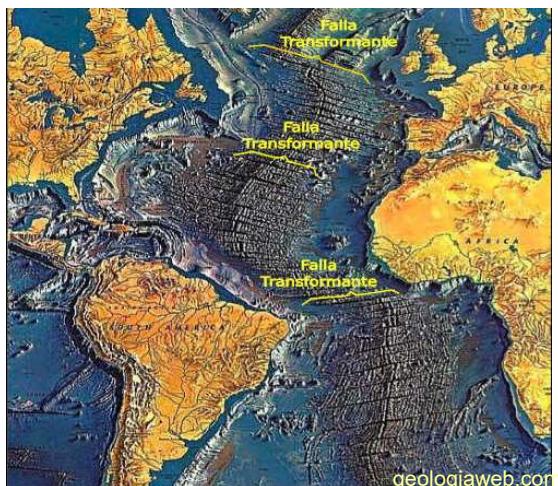
<https://www.republica.com.uy/falla-de-san-andres-lista-para-provocar-un-megaterremoto-id714236/>



# Tectónica de placas

## Márgenes transcurrentes oceánicos

- borde de falla transformante (pasivo) que desplaza los segmentos de la dorsal Centroatlántica



Tarbuck y Lutgens (2005)

# Índice

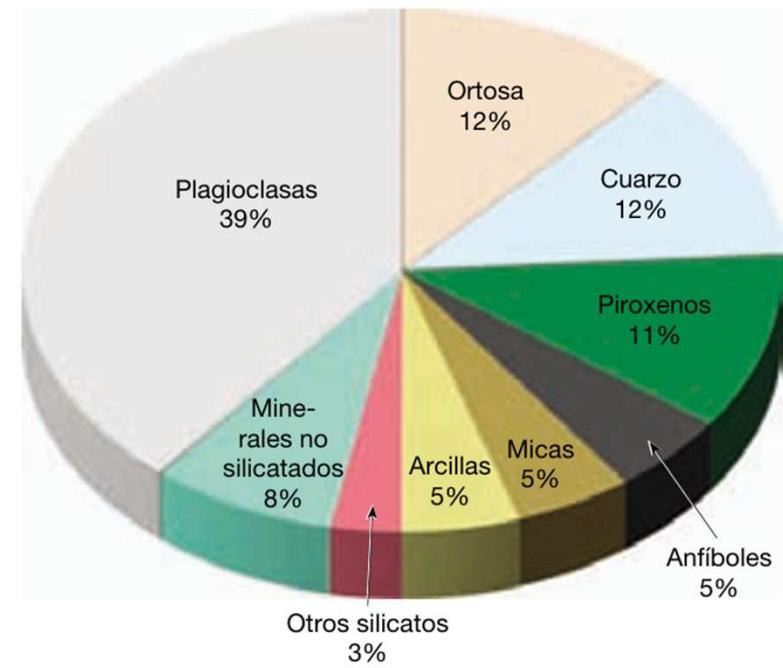
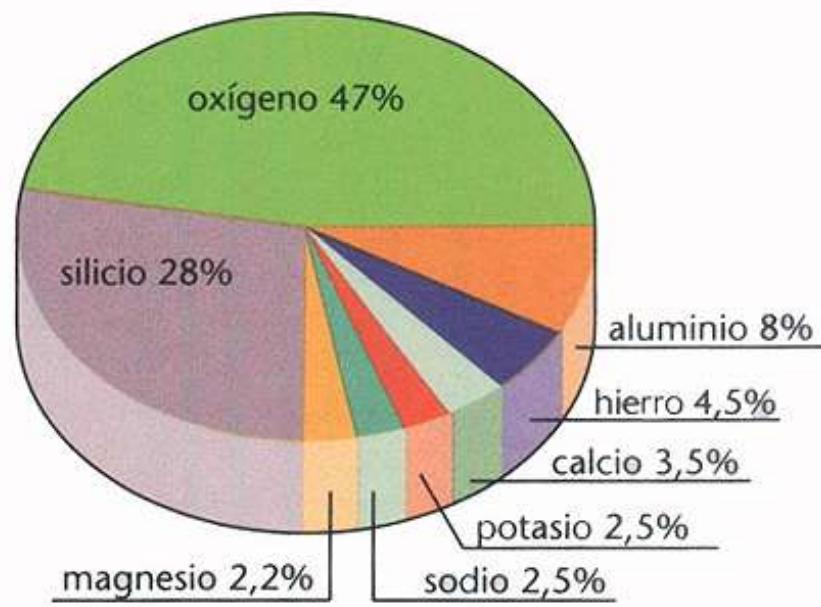


- Planeta tierra y tiempo geológico
- Tectónica de placas
- **Minerales**
- Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas

# Minerales



- **Mineral:** material terrestre básico compuesto por elementos
- **Elementos predominantes** en la corteza terrestre: O<sub>2</sub> y Si
- Minerales abundantes: **silicatos (90%)**, óxidos y otros (carbonatos, sulfatos, sulfuros, fosfatos)



# Minerales

**Mineral:** unidad básica constituyente de rocas (ej: cuarzo, olivino, oro)

- Sólido homogéneo
- Inorgánico
- Natural
- Estructura atómica ordenada (cristal)
- Composición química definida, fija o con ciertas variaciones



<https://www.mineralesyrocas.top/olivino/>

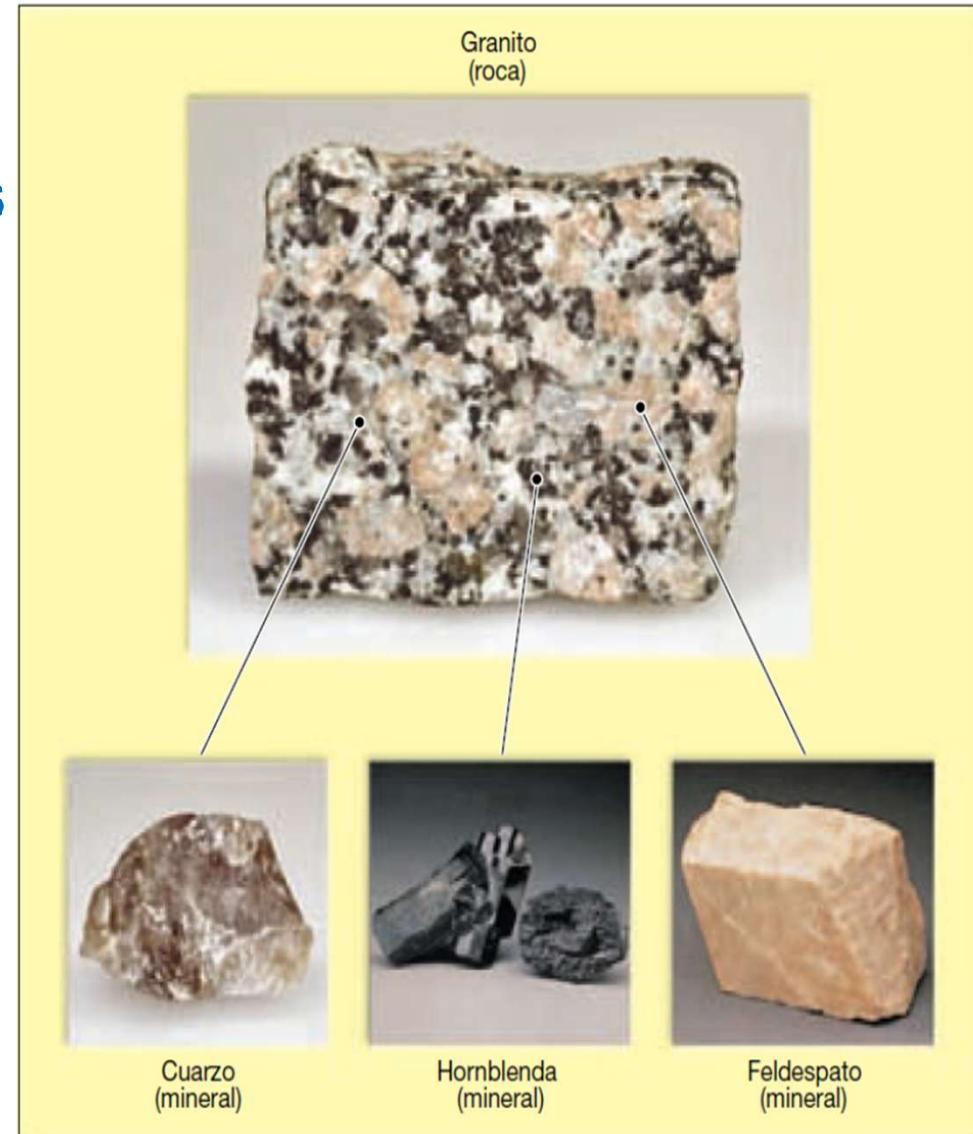
**Mineraloides:** sólidos sin estructura atómica definida (ej: vidrio, ambar)

Olivino  $((\text{Fe, Mg})_2\text{SiO}_4)$

# Minerales



- **Roca: conjunto de uno o mas minerales**
- Propiedades determinadas por composición química y estructura de los minerales
- Asociación de minerales indica las condiciones predominantes de P y T durante la formación de la roca



# Minerales

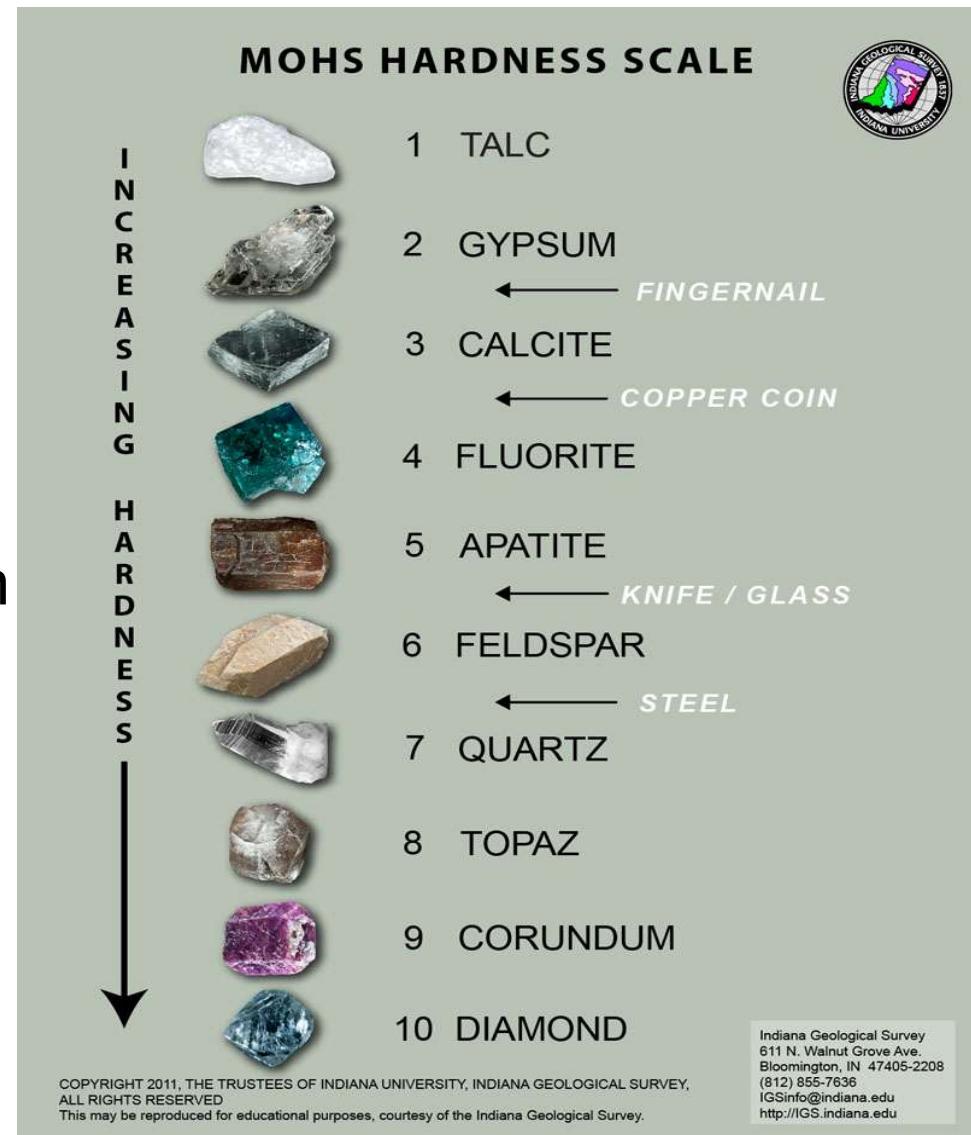


## Identificación de minerales

- Propiedades físicas: forma, brillo, color, peso específico, dureza (Mohs), radiactividad, petrografía...
- Propiedades químicas: reacción con ácidos (ej: HCl), solubilidad en agua



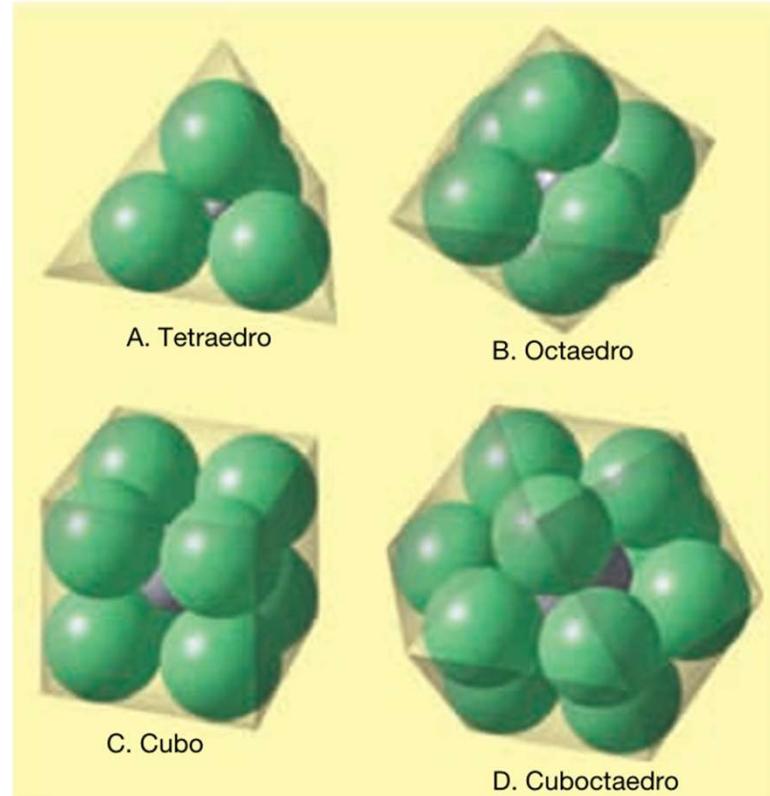
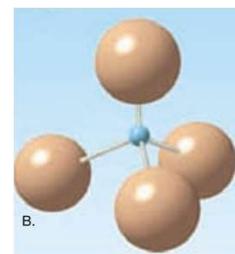
<http://contenidos.educarex.es/sama/2006/minerales/ud1/propiedades.htm>



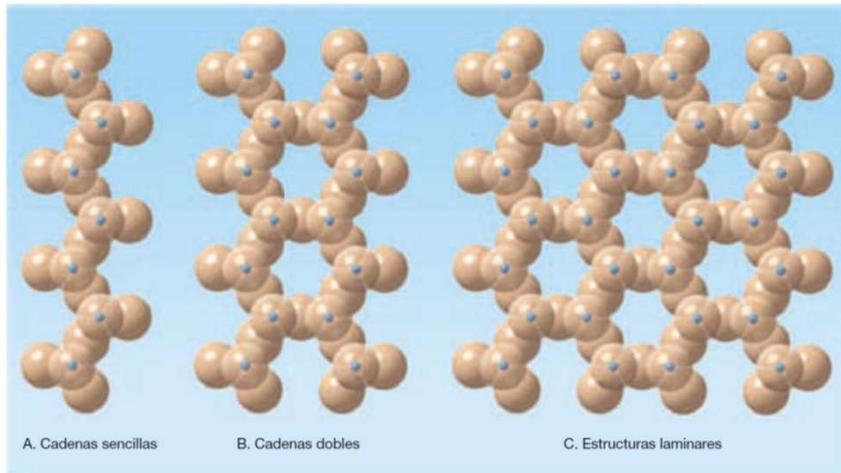
# Minerales

**Estructura atómica:** agrupamiento fijo de cationes y aniones

- mineral halita, cúbico
- silicatos: tetraedro  $\text{SiO}_4^{4-}$



Agrupamientos



Cadenas de tetraedros



Halita

# Minerales



- **Minerales silicatados** (combinación tetraedros)

Mineral	Fórmula idealizada	Exfoliación	Estructura de silicatos
Olivino	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	Ninguna	Tetraedro simple 
Grupo de los piroxenos (augita)	$(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$	Dos planos en ángulos rectos	Cadenas sencillas 
Grupo de los anfíboles (hornblenda)	$\text{Ca}_2(\text{Fe, Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Dos planos a $60^\circ$ y $120^\circ$	Cadenas dobles 

# Minerales



- **Minerales no silicatados: valor económico**

**Tabla 3.2** Grupos de minerales comunes no silicatados

Grupos de minerales (aniones o elementos clave)	Miembro	Fórmula	Interés económico
Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	Calcita	$\text{CaCO}_3$	Cemento portland, cal
	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Cemento portland, cal
Haluros ( $\text{Cl}^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{Br}^-$ )	Halita	$\text{NaCl}$	Sal común
	Fluorita	$\text{CaF}_2$	Utilizado en la fabricación de acero
	Silvina	$\text{KCl}$	Fertilizante
Óxidos ( $\text{O}^{2-}$ )	Hematites	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Mena de hierro, pigmento
	Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Mena de hierro
	Corindón	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Piedra preciosa, abrasivo
	Hielo	$\text{H}_2\text{O}$	Forma sólida del agua
Sulfuros ( $\text{S}^{2-}$ )	Galena	$\text{PbS}$	Mena de plomo
	Esfalerita	$\text{ZnS}$	Mena de cinc
	Pirita	$\text{FeS}_2$	Producción de ácido sulfúrico
	Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	Mena de cobre
	Cinabrio	$\text{HgS}$	Mena de mercurio
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Argamasa
	Anhidrita	$\text{CaSO}_4$	Argamasa
	Baritina	$\text{BaSO}_4$	Lodo de perforación
Elementos nativos (elementos simples)	Oro	$\text{Au}$	Comercio, joyería
	Cobre	$\text{Cu}$	Conductor eléctrico
	Diamante	$\text{C}$	Piedra preciosa, abrasivo
	Azufre	$\text{S}$	Fármacos de azufre, productos químicos
	Grafito	$\text{C}$	Mina de lápiz, lubricante seco
	Plata	$\text{Ag}$	Joyería, fotografía
	Platino	$\text{Pt}$	Catalizador

# Minerales



- **Minerales arcillosos: producto de la meteorización química de minerales silicatados (intemperismo)**
- Formadores de suelos
- Estructura laminar
- Presente en rocas sedimentarias

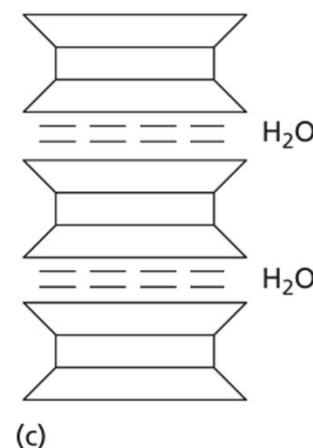
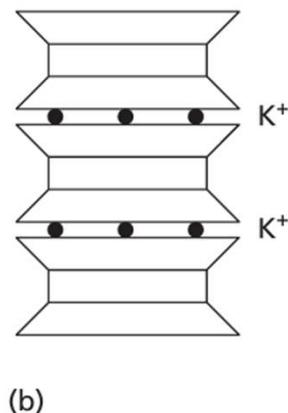
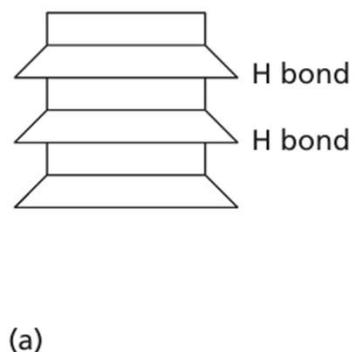


Figure 1.8 Clay minerals: (a) kaolinite, (b) illite, and (c) montmorillonite.

# Índice



- Planeta tierra y tiempo geológico
- Tectónica de placas
- Minerales
- **Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas**

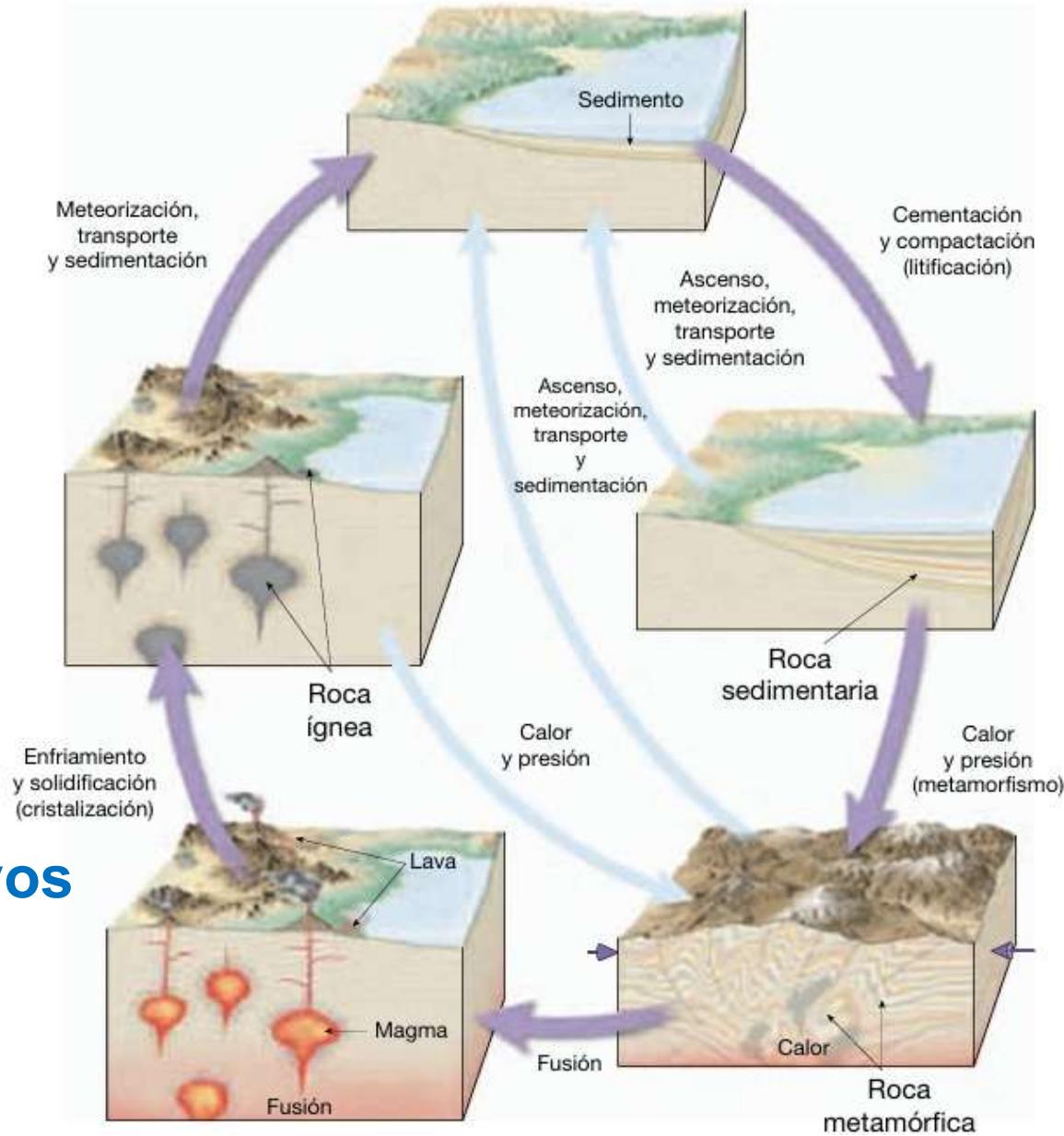
# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



Procesos de cambio muy prolongados

- **Ciclo básico:**
  - Cristalización
  - Meteorización
  - Litificación
  - Metamorfismo
  - Fusión
- Existen **ciclos alternativos**

Tarbuck y Lutgens (2005)



# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Clasificación “útil” de Galster (1992)

### I. Igneous rocks

#### A. Volcanic rocks

1. Volcanoclastics: volcanic ejecta, tuff, breccia, pumice
2. Lavas: basalt, andesite, rhyolite, feldsite, and trachite
3. Volcanic intrusives: diabase, pahoehoe, aa

#### B. Plutonic and other coarsely crystalline rocks: granite, granodiorite, diorite, quartz diorite, syenite, gabbro

### II. Sedimentary rocks

#### A. Precipitates: chert, limestone, dolomite, rock salt, gypsum, anhydrite

#### B. Clastics: sandstone, shale, siltstone, claystone, conglomerate, sedimentary breccia, argillite

#### C. Biological sediments: coal, coral reef limestone, chalk, diatomite

### III. Metamorphic rocks

#### A. Nonfoliated:

1. Quartzite, hornfels, amphibolite, marble
2. Numerous volcanic and sedimentary rocks with meta as a prefix

#### B. Foliated:

1. Schist, phyllite, slate, amphibolite, serpentinite
2. Bedded metamorphics (argillite, gneiss, metasandstone, quartzite)

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## IGNEOUS ROCKS



GRANITE



DIORITE



FELSITE



BASALT



OBSIDIAN

## SEDIMENTARY ROCKS



CONGLOMERATE



SANDSTONE



SHALE



LIMESTONE



DOLOMITE

## METAMORPHIC ROCKS



SLATE



SCHIST



SERPENTINE



QUARTZITE



MARBLE

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas

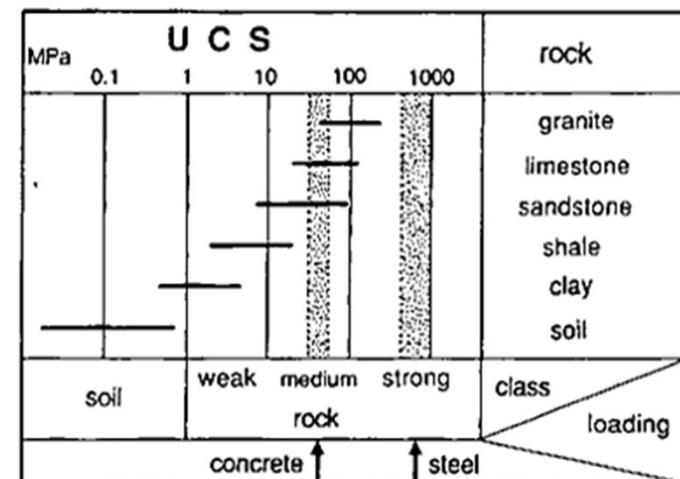


- **Rocas “fuertes”, “intermedias” y “débiles”** en términos de resistencia a la compresión (UCS)
  - **Roca intacta y macizo:** caracterización por separado
  - Una “roca débil” puede ser equivalente a un “suelo duro” en términos de resistencia
  - Una “roca fuerte” puede ser equivalente o mayor a un hormigón de muy buena calidad

Strong Rocks	Weak Rocks
UCS > 100 MPa	UCS < 10 MPa
Little fracturing	Fractured and bedded
Minimal weathering	Deep weathering
Stable foundations	Settlement problems
Stand in steep faces	Fail on low slopes
Aggregate resource	Require engineering care

**Assessment of ground conditions must distinguish:**

- Intact rock – strength of an unfractured, small block; refer to UCS.
  - Rock mass – properties of a large mass of fractured rock in the ground; refer to rock mass classes (section 25).

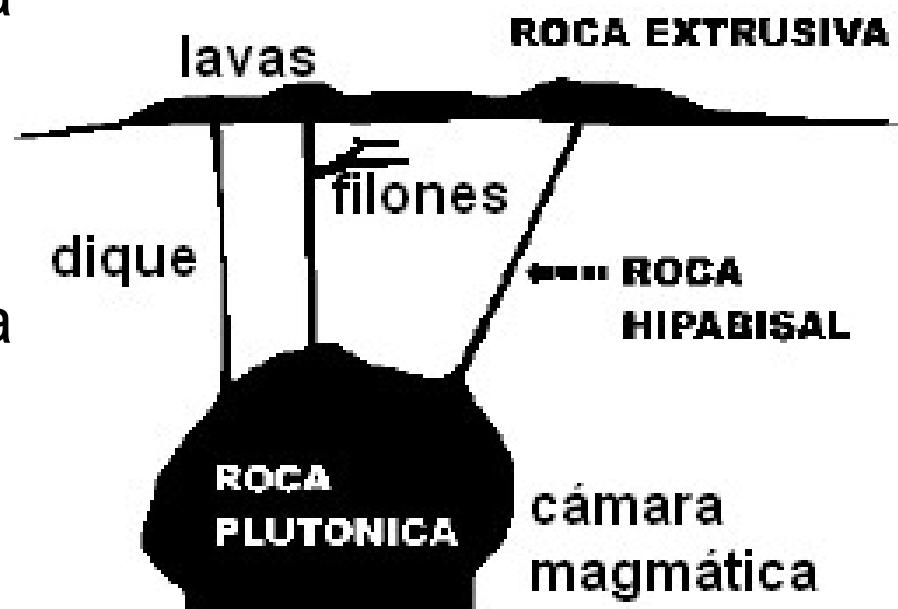


# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Rocas ígneas: cristalización y enfriamiento del magma

- **Intrusivas o plutónicas:** magma solidificado muy lentamente (~5Ma) dentro de la corteza (granitos, dioritas, gabros)
- **Extrusivas o volcánicas:** magma solidificado rápidamente (días o semanas) en la superficie (andesitas, basaltos, riolitas)
- **Hipoabisales:** el magma solidifica lentamente en sitios cercanos a la superficie pero dentro de la corteza (pórfidos, pegmatitas)



# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



- **Magma:** roca fundida (800 – 1200 ° C) con cristales de minerales en suspensión y gases disueltos, principalmente vapor de agua (90%)
- Generado a profundidades entre 10 y 100 km
- Distintos tipos de magma
  - Composición de roca fundida
  - Mezclas por el contacto con rocas de caja



# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas

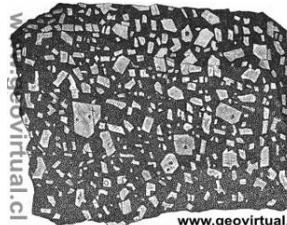


- Clasificación: s/ composición mineral y textura

Composición química		Granítica (félscica)	Andesítica (intermedia)	Basáltica (máfica)	Ultramáfica
TEXTURA	Minerales dominantes	Cuarzo Feldespato potásico Plagioclasa rica en sodio y calcio	Anfíbol Plagioclasa rica en sodio y calcio	Piroxeno Plagioclasa rica en calcio	Olivino Piroxeno
	Minerales accesorios	Anfíbol Moscovita Biotita	Piroxeno Biotita	Anfíbol Olivino	Plagioclasa rica en calcio
	Fanerítica (grano grueso)		Granito	Diorita	Gabro
	Afanítica (grano fino)		Riolita	Andesita	Basalto
	Porfidica		«Porfídico» precede cualquiera de los nombres anteriores siempre que haya fenocristales apreciables		
	Vítrea		Obsidiana (vidrio compacto) Pumita (vidrio vacuolar)		Poco comunes
Color de la roca (basado en el % de minerales oscuro)		0% a 25%	25% a 45%	45% a 85%	85% a 100%



Textura granosa en un granito



Textura porfírica en una andesita



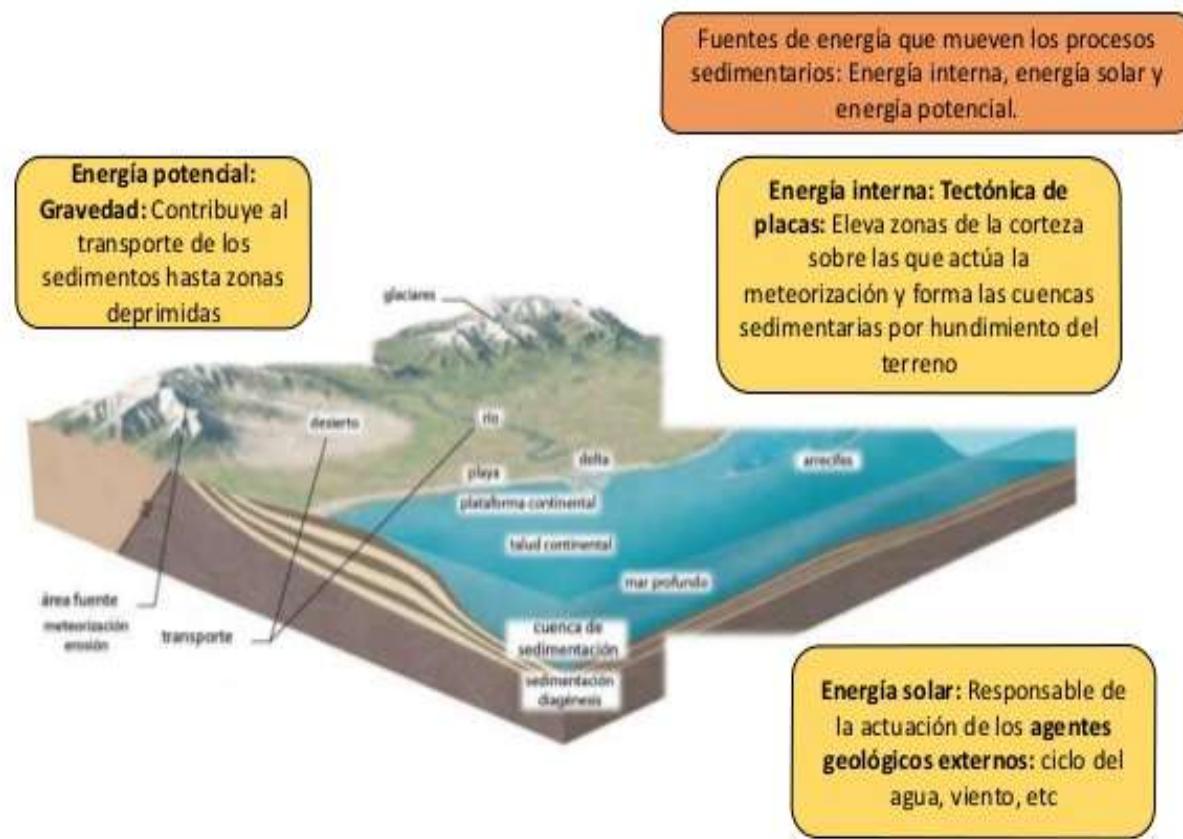
Textura vítrea en obsidiana

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Rocas sedimentarias: transformación del sedimento (suelo) en roca vía procesos superficiales:

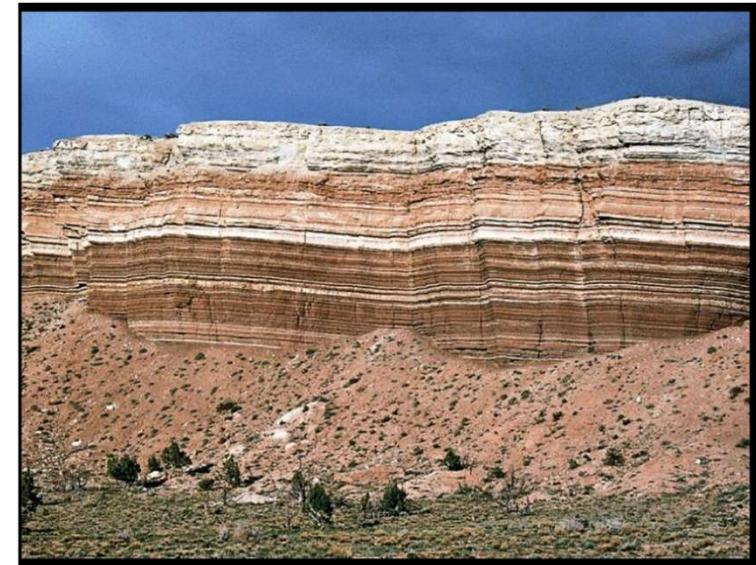
- Meteorización
- Erosión
- Transporte
- Depositación
- Acumulación  
(ambiente marino o continental)



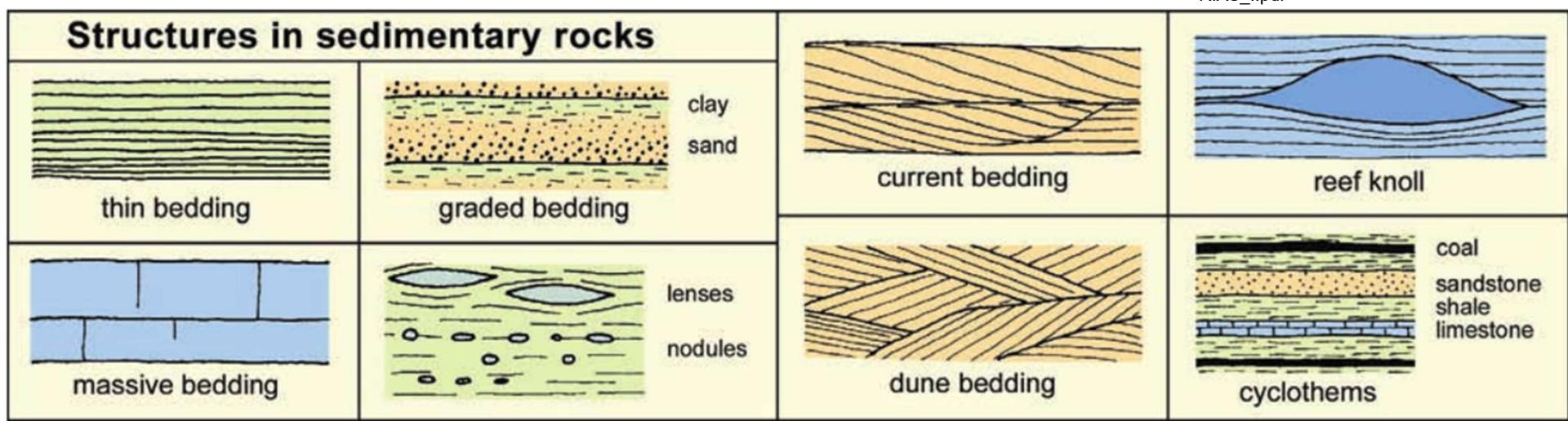
# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



- Disposición en estratos por acumulación episódica en cuencas sedimentarias de ambiente marino o continental
- **Planos de estratificación = planos de discontinuidad**



[https://sivea.uson.mx/docentes/tareas/20\\_ESTRUCTURAS\\_PRIMA\\_RIAS\\_I.pdf](https://sivea.uson.mx/docentes/tareas/20_ESTRUCTURAS_PRIMA_RIAS_I.pdf)



# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Clasificación de rocas sedimentarias

- **Químicas o precipitados:** precipitación de solutos en salmueras por evaporación (evaporitas, dolomita)
- **Clásticas o detríticas:** acumulación y litificación de fragmentos de rocas preexistentes (sandstone, shales, conglomerado, limestone)
- **Bioquímicas y biogénicas:** formadas por actividad o acumulación de organismos (fosforitas, carbón, chalk)

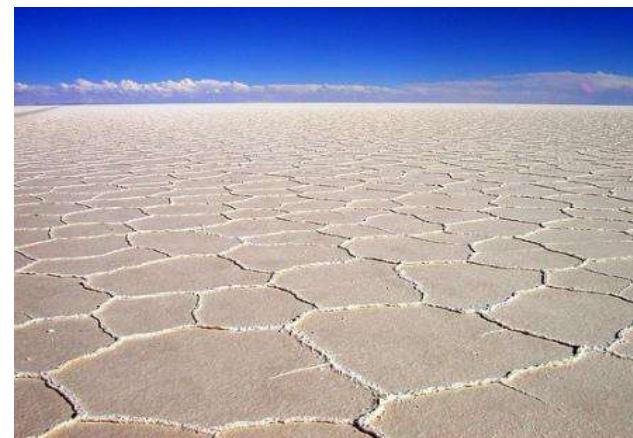
# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Ambientes sedimentarios



<http://edafologia.ugr.es/rocas/fotos2/caliza-fosilifera-macro-59.jpg>



Halita



<https://www.rocasyminales.net/arenisca/>



<https://masneuquen.com/wp-content/uploads/2019/11/Yesera-del-Tromen.jpg>

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



Rocas sedimentarias detríticas			Rocas sedimentarias químicas		
Textura clástica Tamaño del clasto	Nombre del sedimento	Nombre de la roca	Composición	Textura	Nombre de la roca
Grueso (más de 2 mm)	Grava (clastos redondeados)	Conglomerado	Calcita, $\text{CaCO}_3$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Caliza cristalina
	Grava (clastos angulosos)	Brecha		Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón visibles, cementados débilmente	Travertino
Medio (de 1/16 a 2 mm)	Arena  (Si el feldespato es abundante la roca se denomina arcosa)	Arenisca			Coquina
Fino (de 1/16 a 1/256 mm)	Limo	Limolita		Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón de diversos tamaños cementados con cemento de calcita	Caliza fosilífera
Muy fino (menos de 1/256 mm)	Arcilla	Lutita		Clástica: caparazones y arcilla microscópicos	Creta
	Cuarzo, $\text{SiO}_2$	No clástica: cristalino muy fino	Yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Rocas silíceas (sílex) (color claro) Pedernal (color oscuro)
					Yeso
	Halita, $\text{NaCl}$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Fragmentos vegetales alterados	No clástica: materia orgánica de grano fino	Salgema
					Hulla

Clasificación: s/ tamaño de clasto y origen del sedimento

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Rocas metamórficas: transformaciones químicas y físicas en estado sólido de rocas por aumentos de P y T

- Agentes metamórficos:
  - Temperatura (~200 a 900°C),
  - Presión (~500 MPa a 20 km),
  - Esfuerzos diferenciales,
  - Actividad fluidos hidrotermales,
  - Tiempo

### METAMORPHISM OF DIFFERENT ROCKS

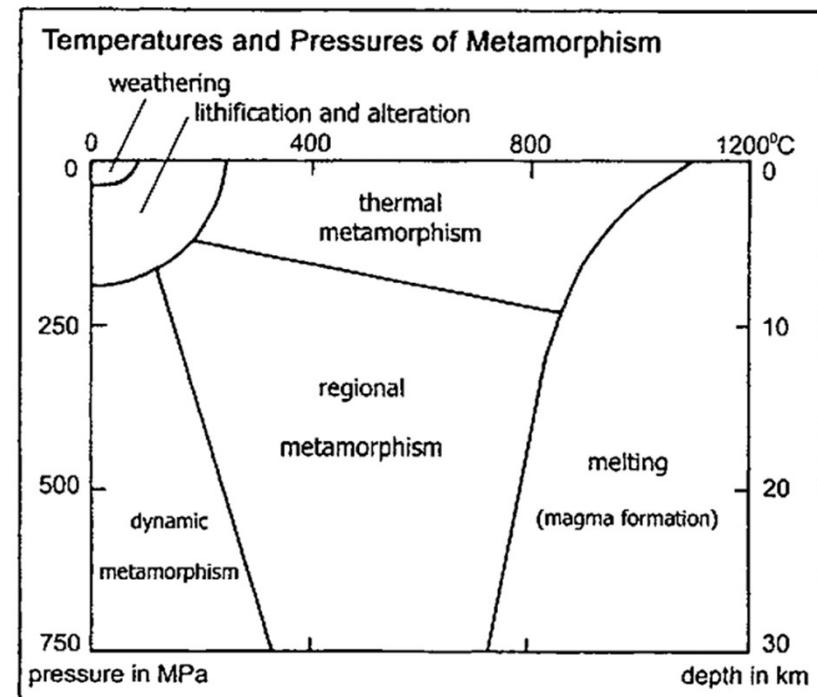
Limestone → marble: by recrystallization of calcite, forming strong mosaics.

Sandstone → quartzite: by recrystallization of quartz, forming very strong mosaics.

Basalt → greenstone: by limited growth of new green minerals.

Granite shows little change: stable in metamorphic conditions.

Clay (and rock mixtures) → hornfels, slate, schist or gneiss: depending on type and grade of metamorphism.



Walthman (Foundation of engineering geology)

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



- A diferencia de algunos procesos ígneos y sedimentarios, **el metamorfismo casi siempre ocurre en zonas profundas (km)**
- El metamorfismo es un proceso que provoca cambios en la mineralogía, la textura y, a menudo, la composición química de las rocas
- Extensas áreas de rocas metamórficas afloran en todos los continentes en unas regiones relativamente planas denominadas “escudos”

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



- Clasificación según estructura
  - **Rocas foliadas:** granos de minerales con dirección de orientación preferencial → lineamientos o bandedos



<http://edafologia.ugr.es/rocas/fotos2/gneis-biotitico-visu-91.jpg>



<http://edafologia.ugr.es/rocas/fotos2/esquisto-cloritico-visu-80.jpg>



<http://edafologia.ugr.es/rocas/fotos2/pizarra-visu-77.jpg>

- **Rocas no foliadas:** granos de minerales sin orientación preferencial



<http://edafologia.ugr.es/rocas/fotos2/marmol-visu-72.jpg>



<http://edafologia.ugr.es/rocas/fotos2/cuarrita-con-distena-visu-86.jpg>

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



- Clasificación de rocas metamórficas

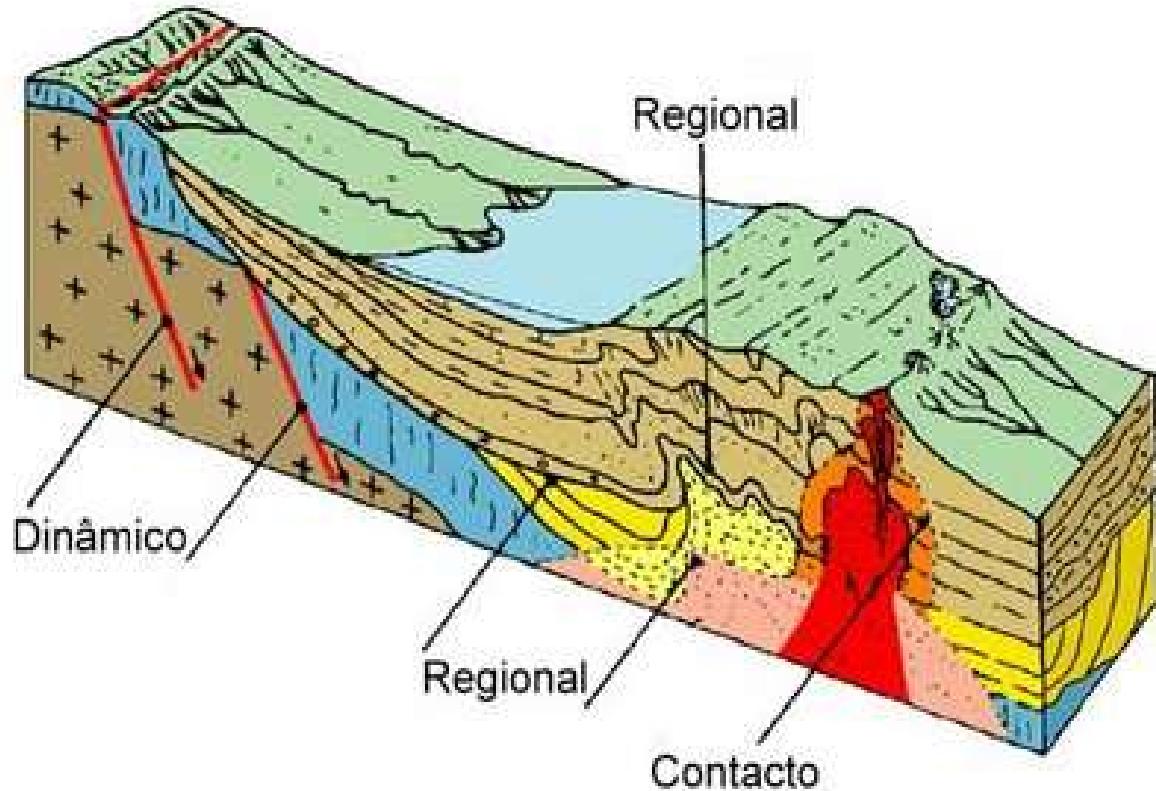
Nombre de la roca	Textura	Tamaño de grano	Observaciones	Protolito
Pizarra	Aumento del metamorfismo ↓	Muy fino	Pizarrosidad excelente, superficies lisas sin brillo	Lutitas, pelitas
Filita		Fino	Se rompe a lo largo de superficies onduladas, brillo satinado	Pizarra
Esquisto		Medio a grueso	Predominan los minerales micáceos, foliación escamosa	Filita
Gneis		Medio a grueso	Bandeado composicional debido a la segregación de los minerales	Esquisto, granito o rocas volcánicas
Migmatita		Medio a grueso	Roca bandeada con zonas de minerales cristalinos claros	Gneis, esquisto
Milonita		Fino	Cuando el grano es muy fino, parece sílex, suele romperse en láminas	Cualquier tipo de roca
Metaconglomerato		De grano grueso	Cantos alargados con orientación preferente	Conglomerado rico en cuarzo
Mármol		Medio a grueso	Granos de calcita o dolomita entrelazados	Caliza, dolomía
Cuarcita		Medio a grueso	Granos de cuarzo fundidos, masiva, muy dura	Cuarzoarenita
Comeana		Fino	Normalmente, roca masiva oscura con brillo mate	Cualquier tipo de roca
Antracita		Fino	Roca negra brillante que puede mostrar fractura concoide	Carbón bituminoso
Brecha de falla		Medio a muy grueso	Fragmentos rotos con una disposición aleatoria	Cualquier tipo de roca

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Ambientes metamórficos principales

- **Dinámico**
- **Regional**
- **De contacto**
- **Hidrotermal**



<http://2.bp.blogspot.com/-7KI8YQE4840/TrvAesVW-QI/AAAAAAAQAOw/2eOkQ7Aim74/s1600/tipos-de-metamorfismo.jpg>

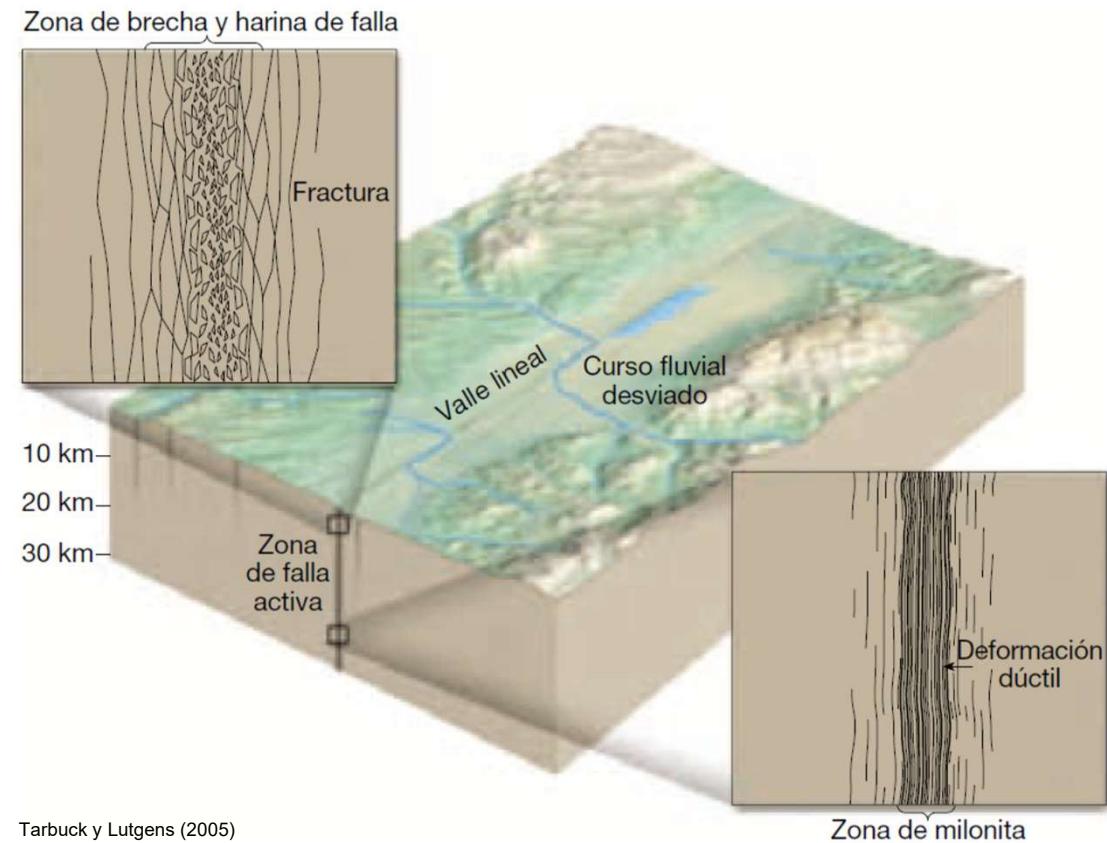
# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas

## Metamorfismo dinámico o cataclástico

- En zonas de falla → cataclasis (trituración de las rocas) e intensa deformación
- Agentes metamórficos predominantes: P y T
- Rocas: brechas de falla, milonitas



<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRE9QVYrmNGfBXkdJCX0LU3mqrD2TLAgIReg&usqp=CAU>



Tarbuck y Lutgens (2005)

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Metamorfismo regional (formación de montañas)

- Desarrollo gradual en función del aumento de P y T con la profundidad
- Intensa deformación en márgenes convergentes
- Afecta a extensas áreas
- Agentes metamórficos predominantes: P y T
- Rocas: pizarras, esquistos, gneis, migmatitas



[https://www.flickr.com/photos/banco\\_imagenes\\_geologicas/5000760610/in/album-72157624979775716/](https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/5000760610/in/album-72157624979775716/)



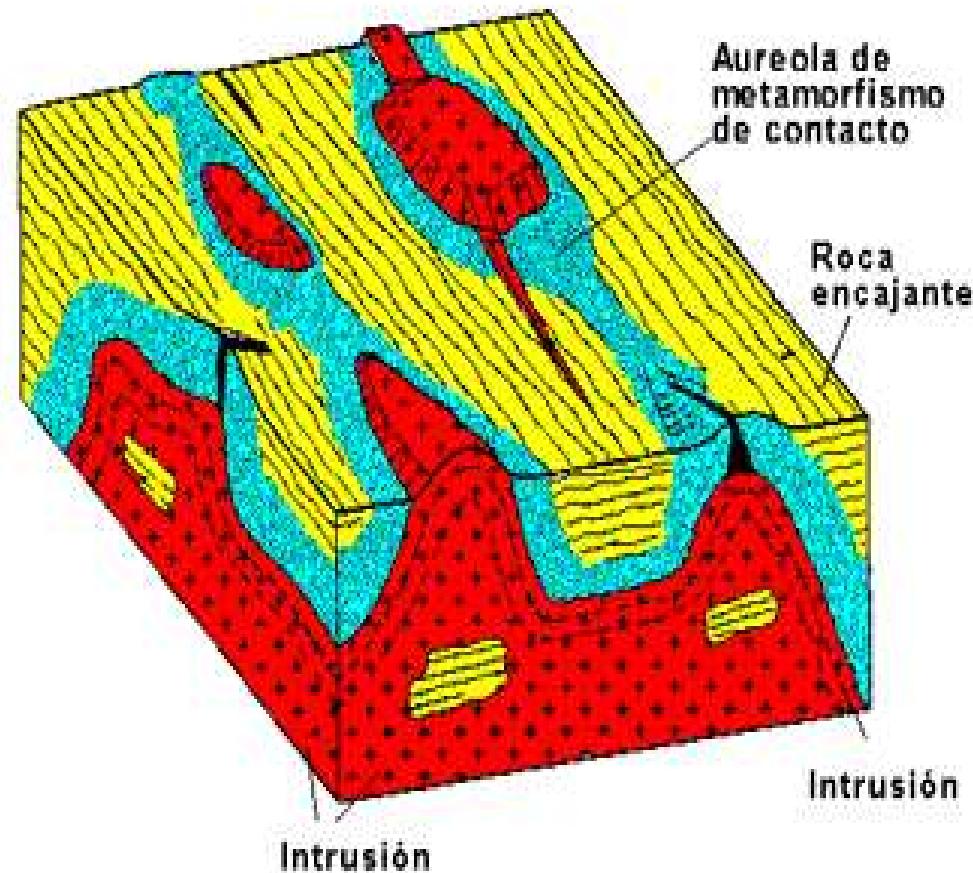
[https://www.flickr.com/photos/banco\\_imagenes\\_geologicas/5000155821/in/album-72157624979775716/](https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/5000155821/in/album-72157624979775716/)

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Metamorfismo térmico o de contacto

- Asociado a intrusión de magma en una roca de caja
- Aureola de contacto alrededor del cuerpo intrusivo (mm a cientos de m o decenas de km)
- Agente metamórfico predominante: T
- Rocas: mármoles, cuarcitas



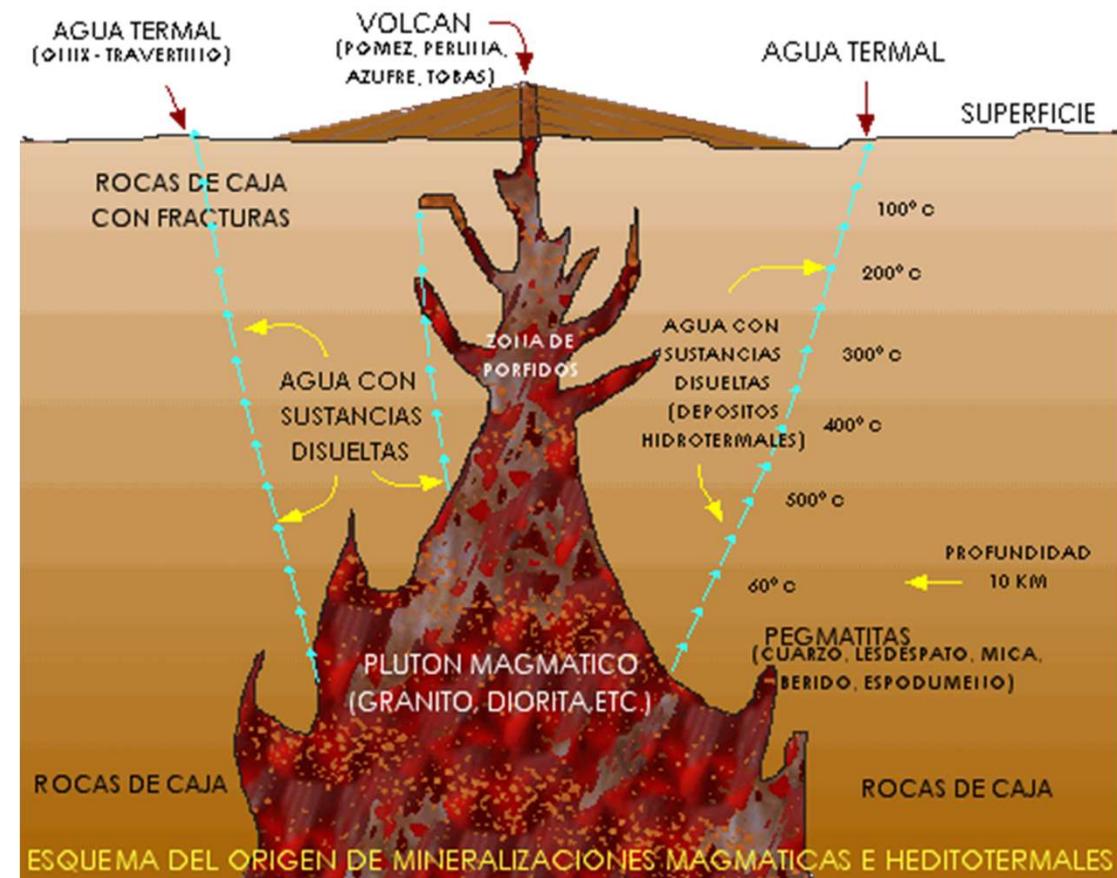
<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1bachillerato/petrogeneticos/imagenes/ima4/contact2.gif>

# Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas



## Metamorfismo hidrotermal

- Asociado a actividad ígnea intrusiva
- Agente metamórfico predominante: fluidos hidrotermales
- Alteración química de la roca de caja
- Concentración y acumulación de minerales por pérdida de solubilidad



# Resumen



- Los ingenieros civiles especializados en geotecnia (ingenieros geotécnicos) deben tener **conocimiento mínimos de geología** aplicada a ingeniería
- El origen de los **materiales terrestres (suelos y rocas)** y la evolución o compresión del paisaje actual forman parte del ámbito de las ciencias geológicas

# Bibliografía



## Básica

- Tarbuck y Lutgens (2005). Ciencias de la Tierra. Pearson (Cap.: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 12, 13, 14,17)

- Waltham. Foundations on Engineering geology. Spon

## Complementaria

- Bell. Engineering Geology. Elsevier

- Blyth. A Geology for Engineers. Elsevier

- Goodman. Engineering Geology. Wiley

- Price. Engineering Geology. Springer