

Introducción a las Ciencias de La Tierra

Los sistemas terrestres, la cuarta
dimensión y el método científico

Cecilia Caballero Miranda
Instituto de Geofísica

El sistema Tierra

La Tierra es un gran sistema cuya

masa **está constituida por la** tierra sólida (geosfera), incluida el agua de los océanos (parte de la hidrosfera) y su envoltura gaseosa (atmósfera) **y cuya energía es la proveniente del Sol** (*radiación solar; energía del viento y oleaje en última instancia debidas al Sol*) **y el calor interno de la Tierra** (contribuyendo a ella el **decaimiento radioactivo**). Y en menor proporción la debida las fuerzas gravitacionales Tierra-Luna: **mareas**

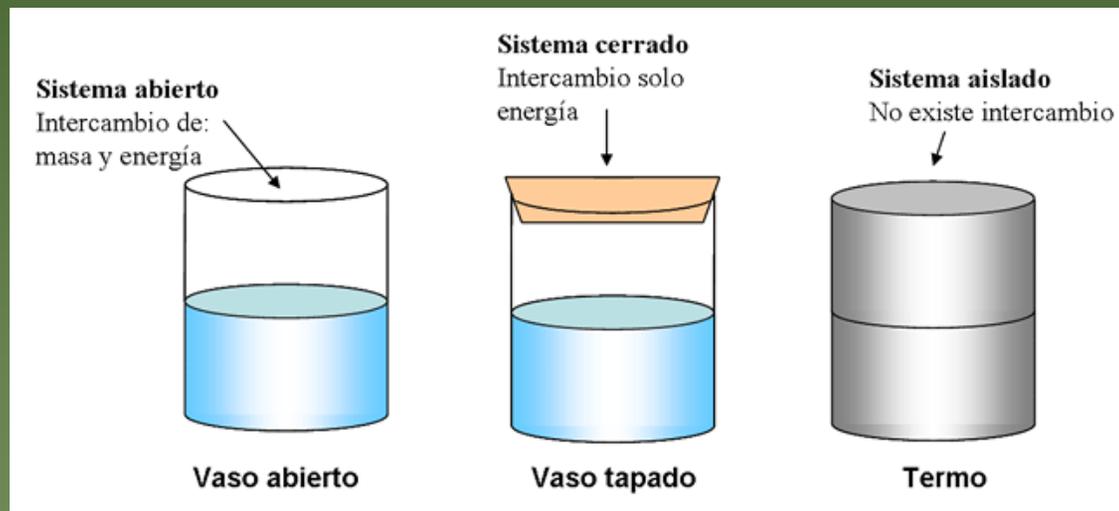
Como todos los sistemas, está dirigido por los *flujos de energía y materia*. Cada una se comporta de forma diferente: la materia siempre se recicla y la energía una vez usada se vuelve menos útil (1ª y 2ª ley de termodinámica)

El sistema Tierra

Sistema aislado: Sin cambio de energía ni materia

Sistema cerrado: Con cambio de energía pero no de materia

Sistema abierto: Con cambio de energía y de materia



La Tierra es casi un sistema cerrado, constituido por varios subsistemas abiertos, los cuáles se relacionan entre si, lo que sucede en uno afecta a otros.

Sistemas Terrestres y Ciencias de la Tierra

Espacio interplanetario



Astronomía

Ccias del Espacio,
Ccias planetarias

Atmósfera



Meteorología

Climatología, Ccias.
de la Atmósfera

Hidrosfera



Oceanografía

O. Física, O. Química,
Ccias. del Mar

Geosfera



Geología

Geofísica,
Geoquímica,
Paleontología

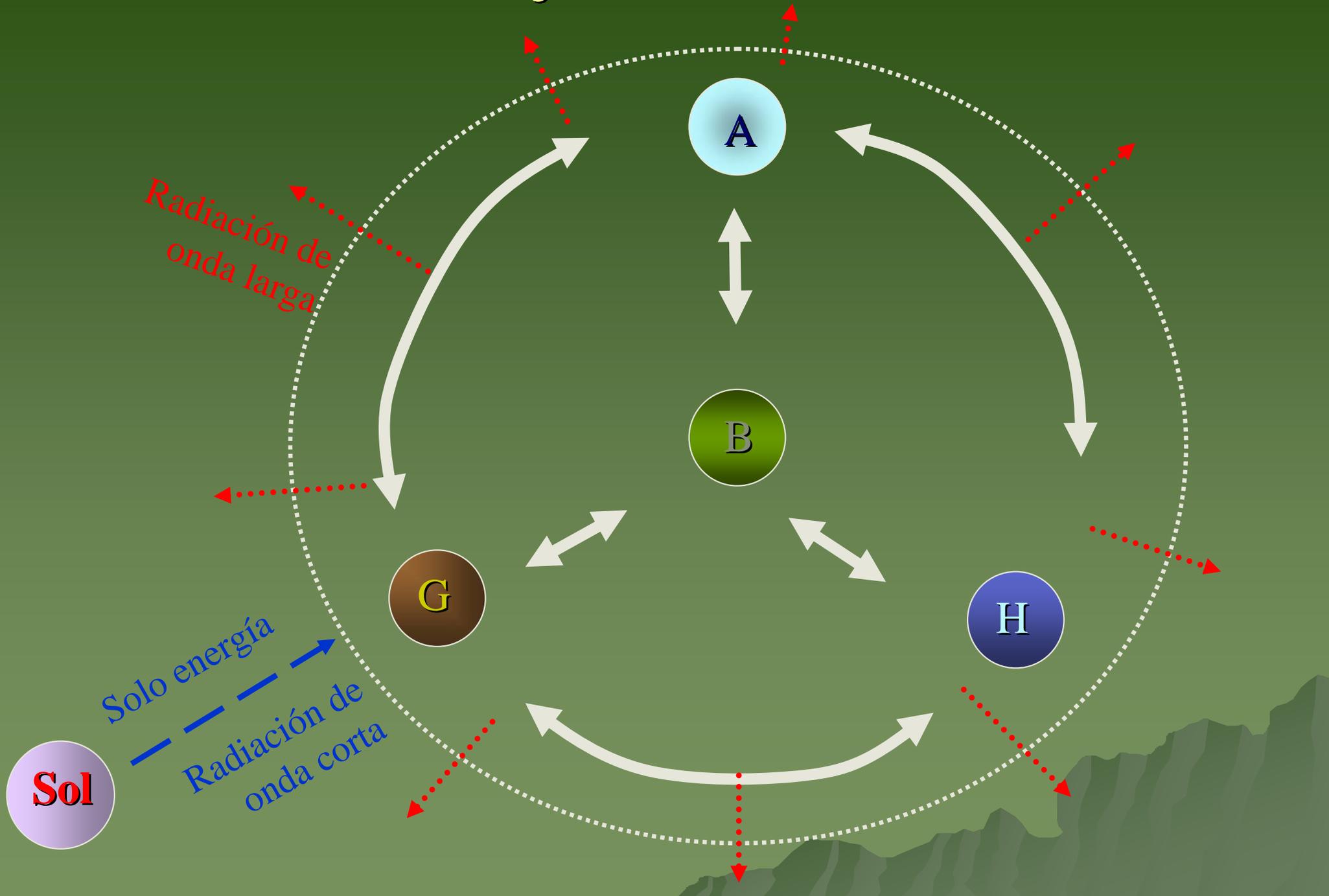
Biosfera



Biología

Ecología, Fisiología,
Bioquímica

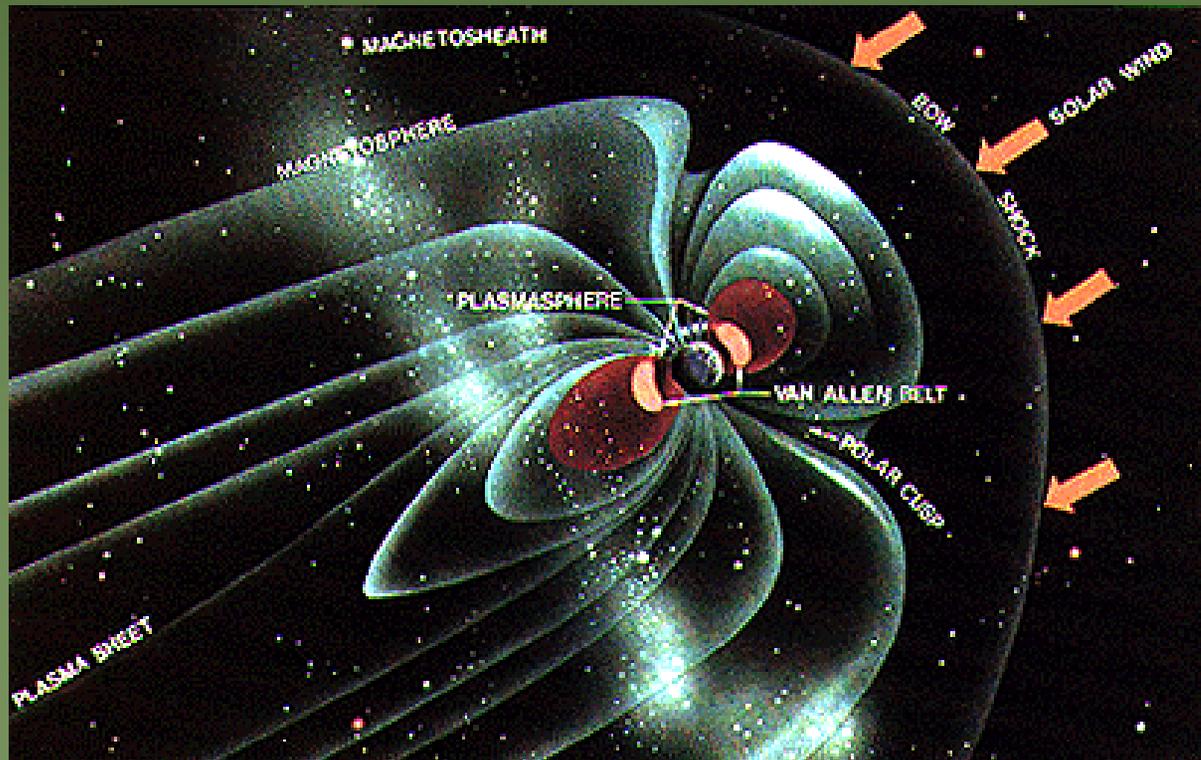
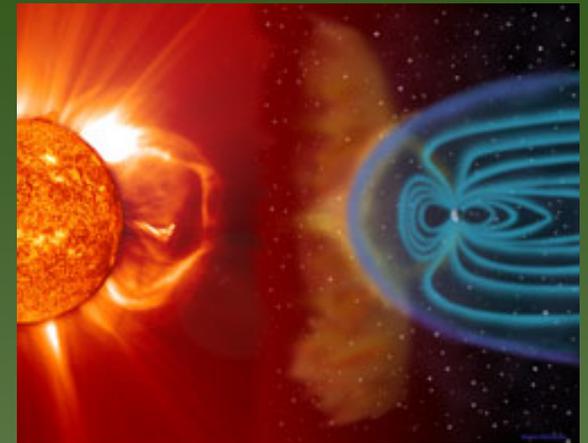
Sistemas Tierra y subsistemas terrestres



Otro sistema terrestre es

La magnetosfera con muy poca materia

Inter-relaciona con el viento solar que emite el Sol: electrones, iones (6 iones/cm³) y protones viajando a altísimas velocidades: 400 km/s ó más.



Estas partículas cargadas eléctricamente, reaccionan con las fuerzas magnéticas terrestres y pueden ser guiadas y atrapadas por el campo geomagnético (capa de plasma).

El sistema Tierra

Diversos ciclos de materia son fundamentales para conocer el funcionamiento del sistema Tierra.

Ciclo del agua, Ciclo de las rocas. Del Carbón, del Nitrógeno, del Fósforo, del Azufre (biogeoquímicos).

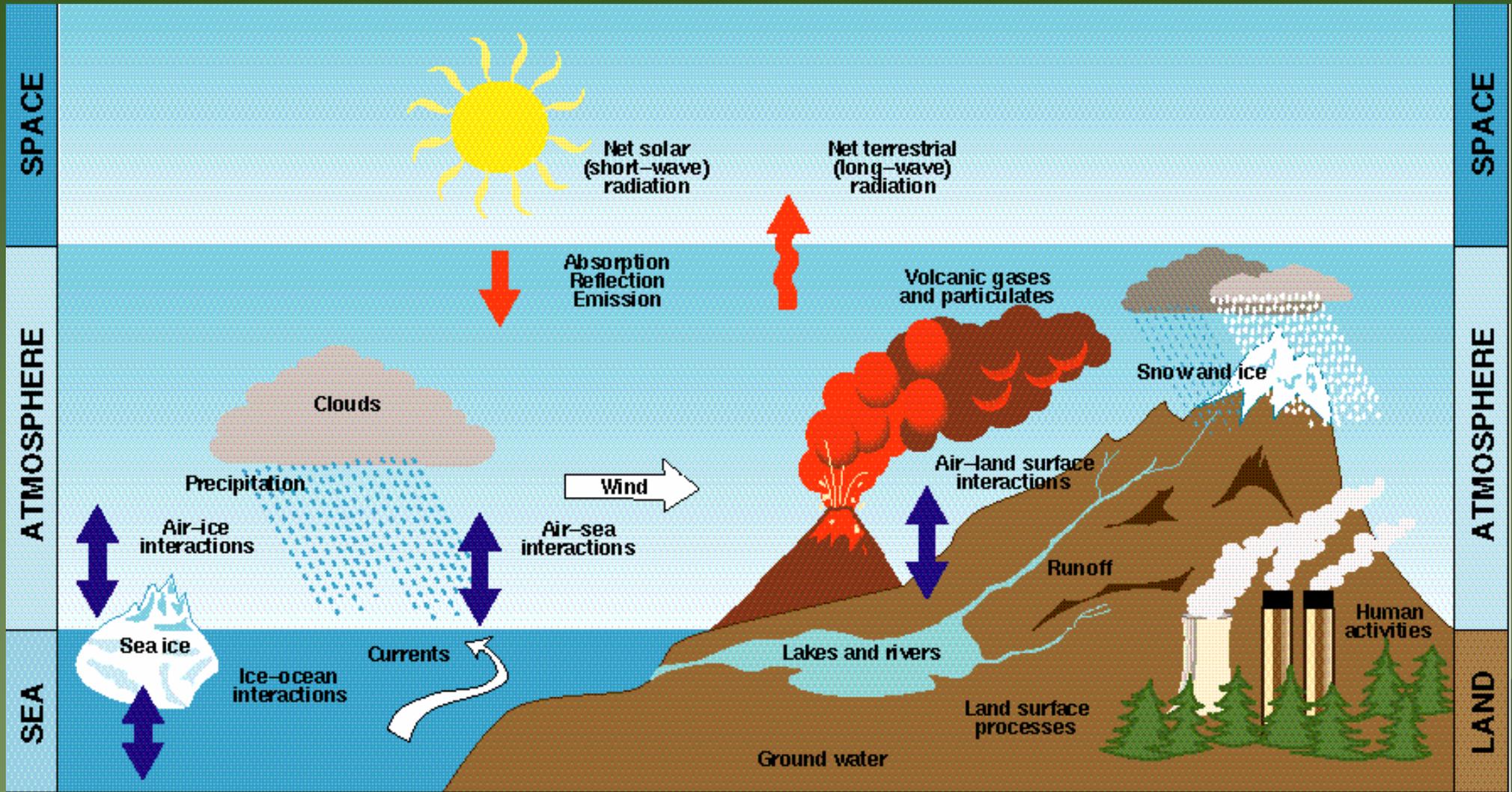
Todos ellos se basan en la conservación de la materia, aunque la materia frecuente y continuamente cambia de forma.

Los ciclos se retroalimentan de forma negativa ó positiva.

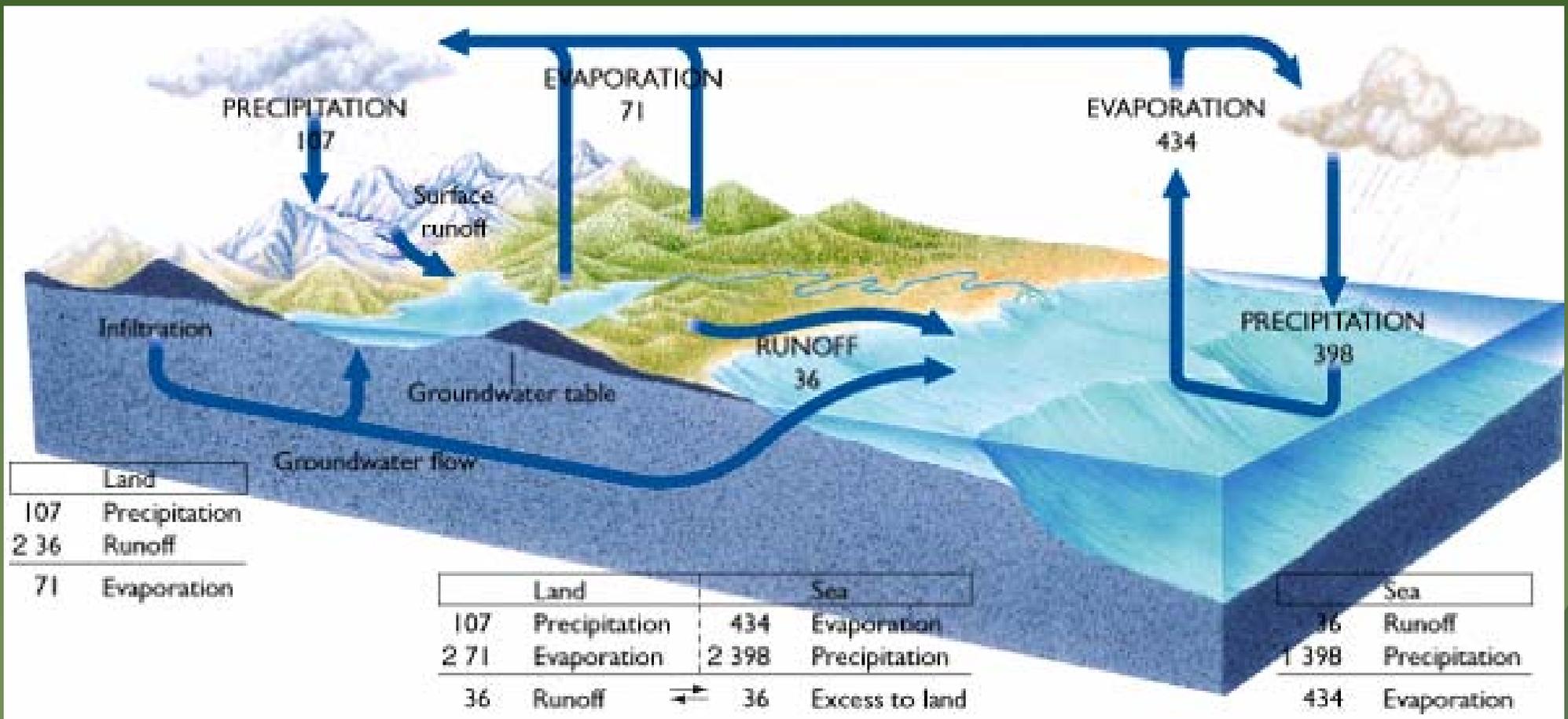
Las retroalimentaciones negativas son estabilizadoras.

Las retroalimentaciones positivas son ciclos viciosos desestabilizadores.

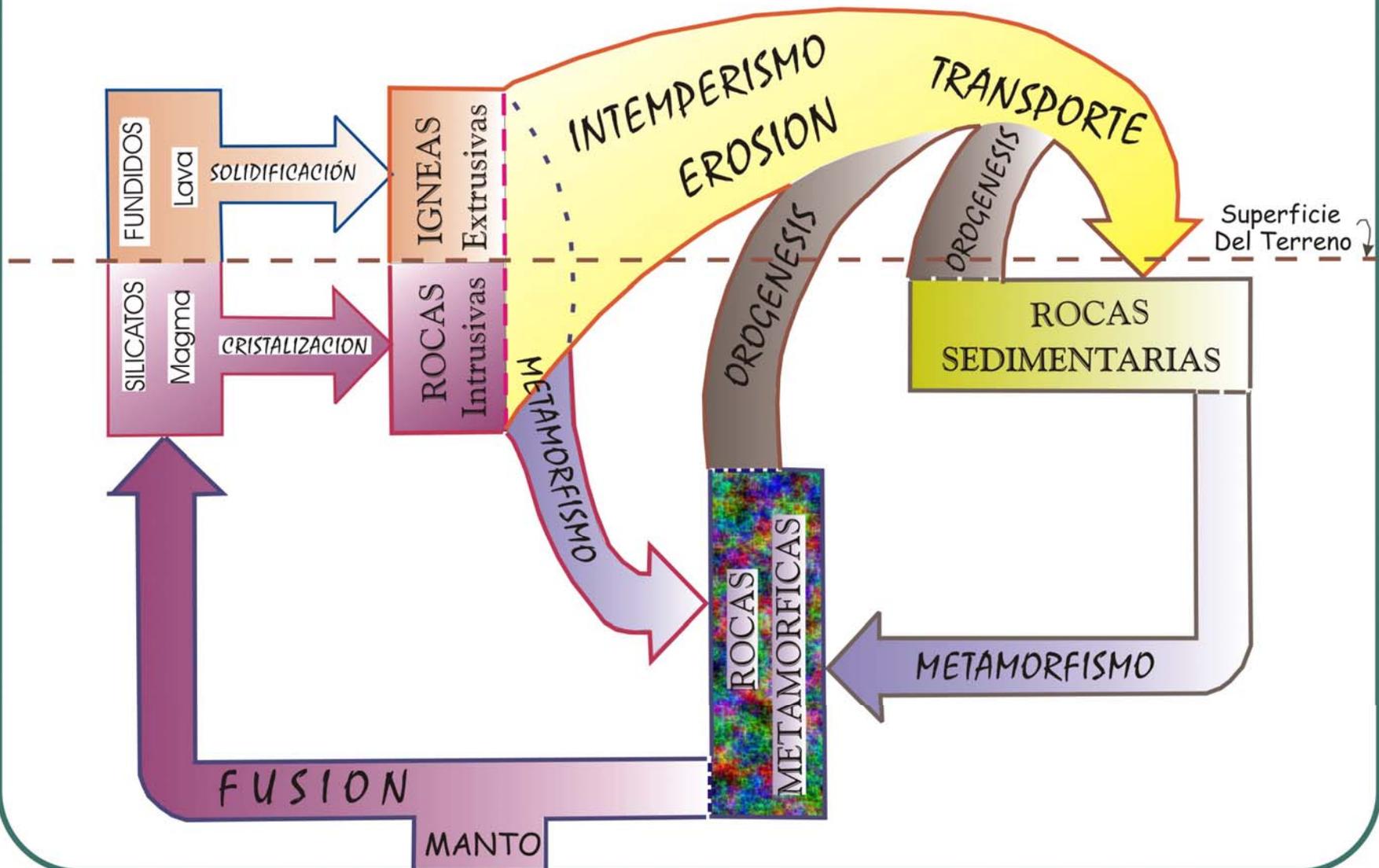
Ciclo del Agua



Ciclo del agua cuantitativo



CICLO DE LAS ROCAS Y DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROCESOS GEOLOGICOS



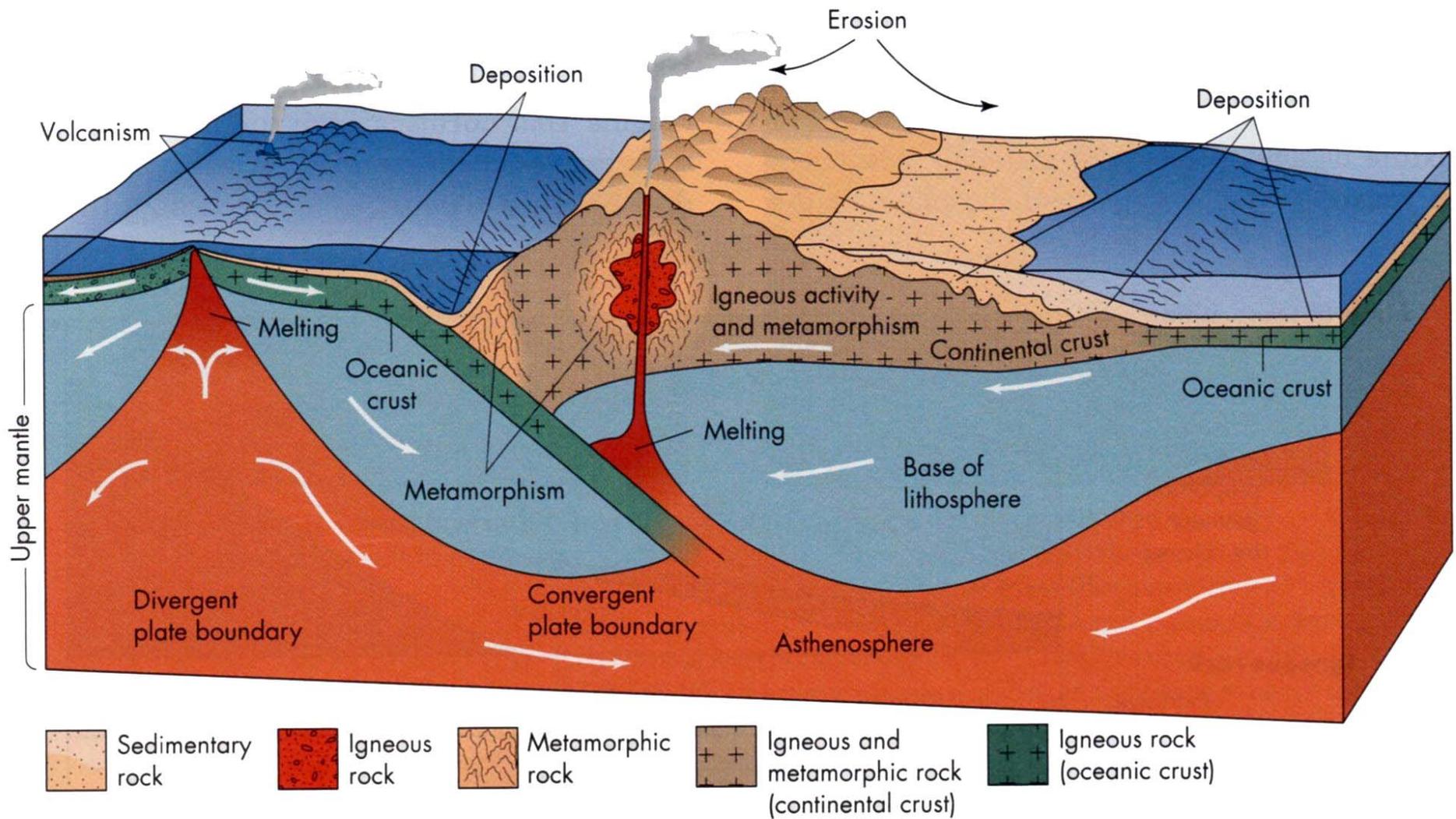
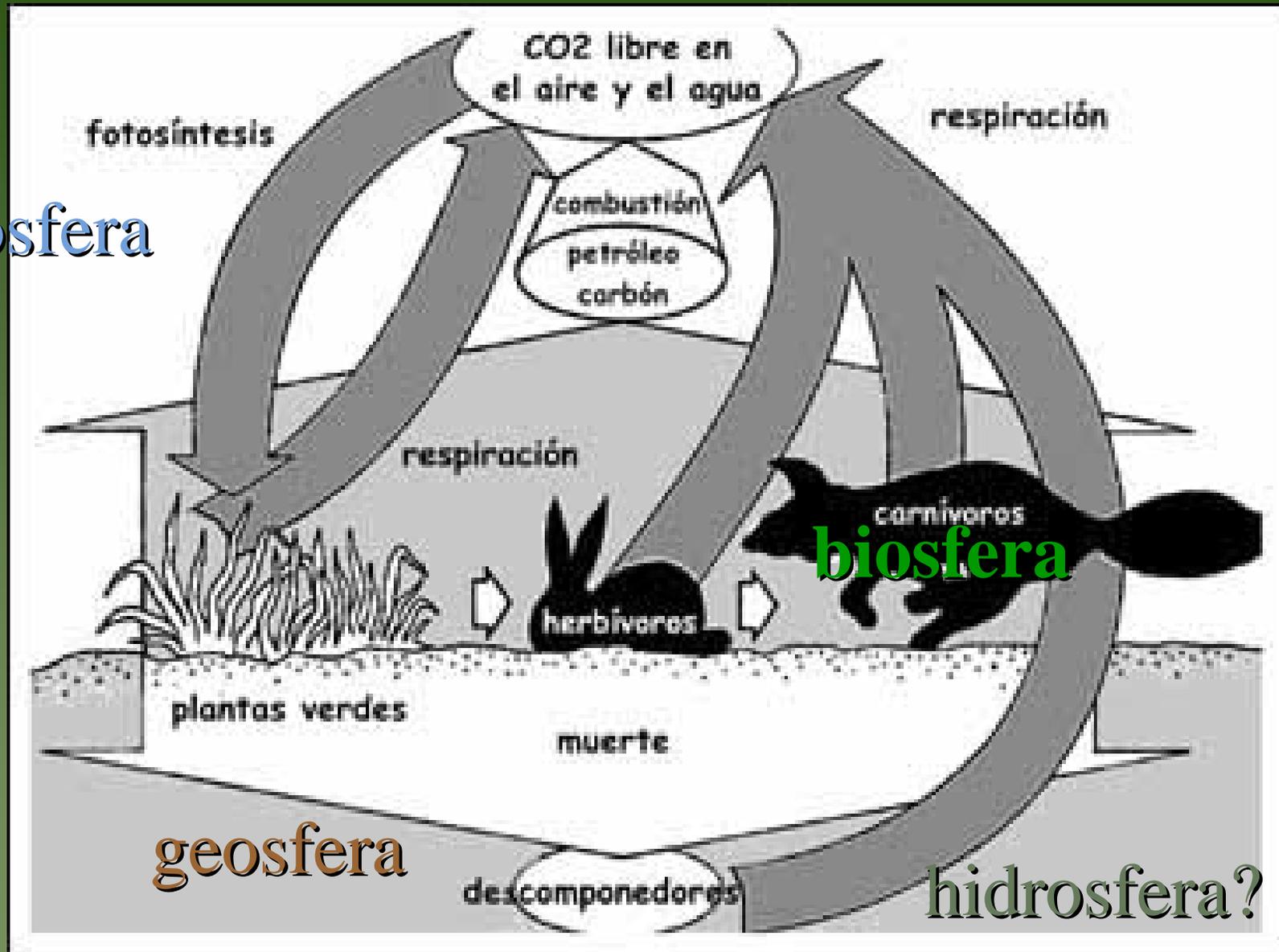


FIGURE 3.14 Rock environments Idealized diagram showing some of the environments in which sedimentary, igneous, and metamorphic rocks form. (Modified after Judson, S., Kauffman, M. E., and Leet, L. D. 1987 *Physical Geology*, 7th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall)

Ciclo del Carbono

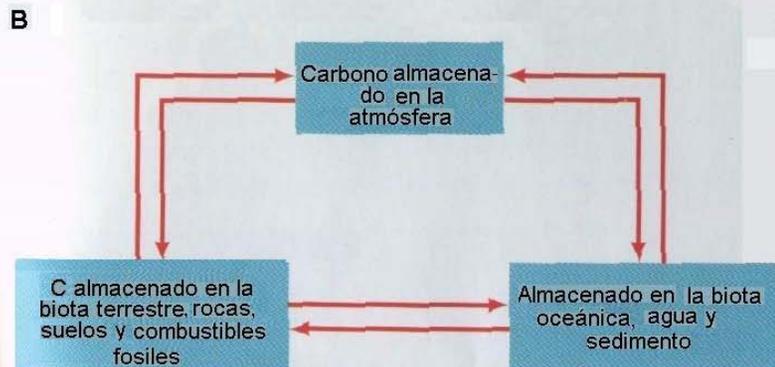
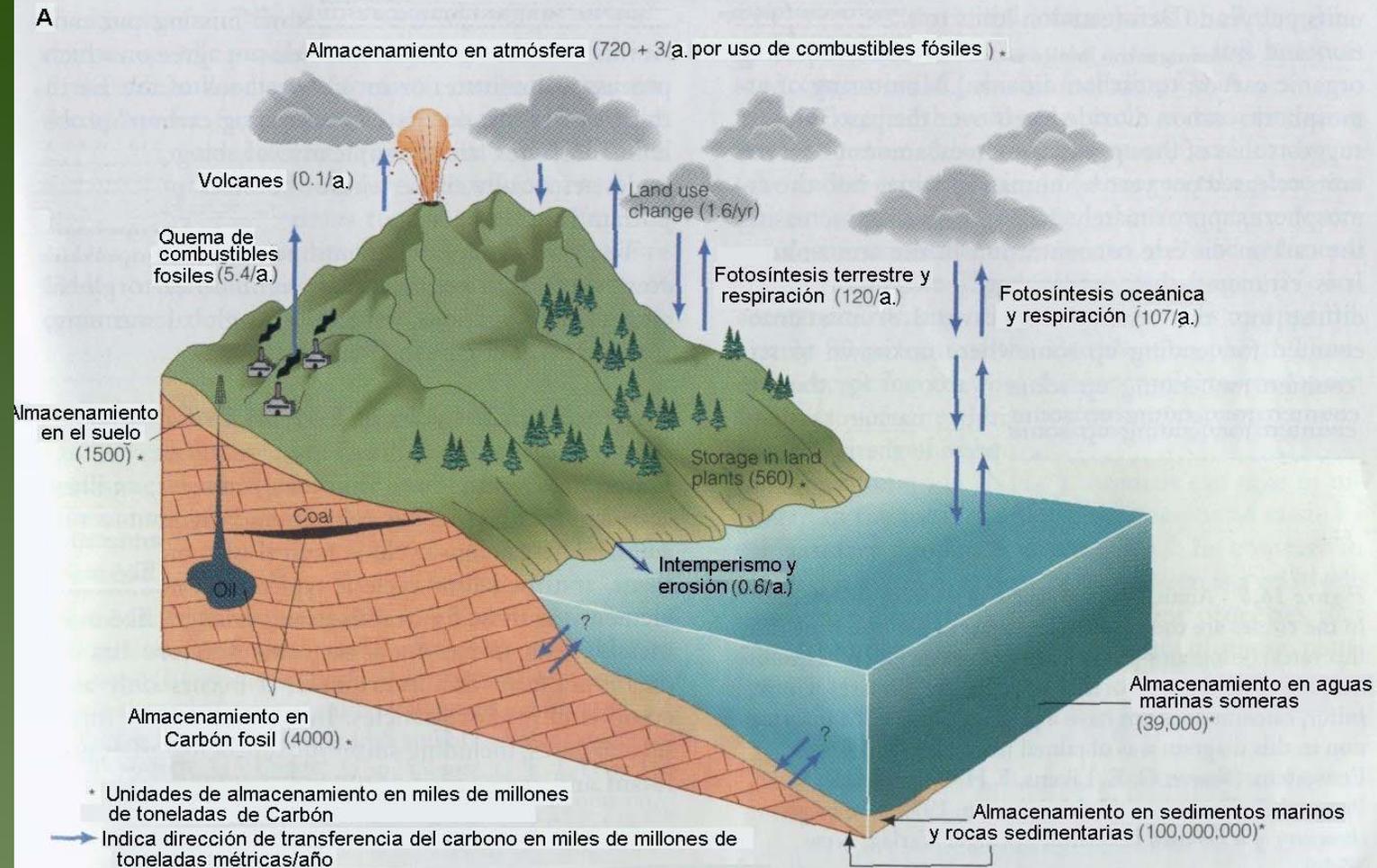
atmosfera



geosfera

hidrosfera?

Ciclos del Carbono cuantitativos



Ciclo global del Carbono (C)

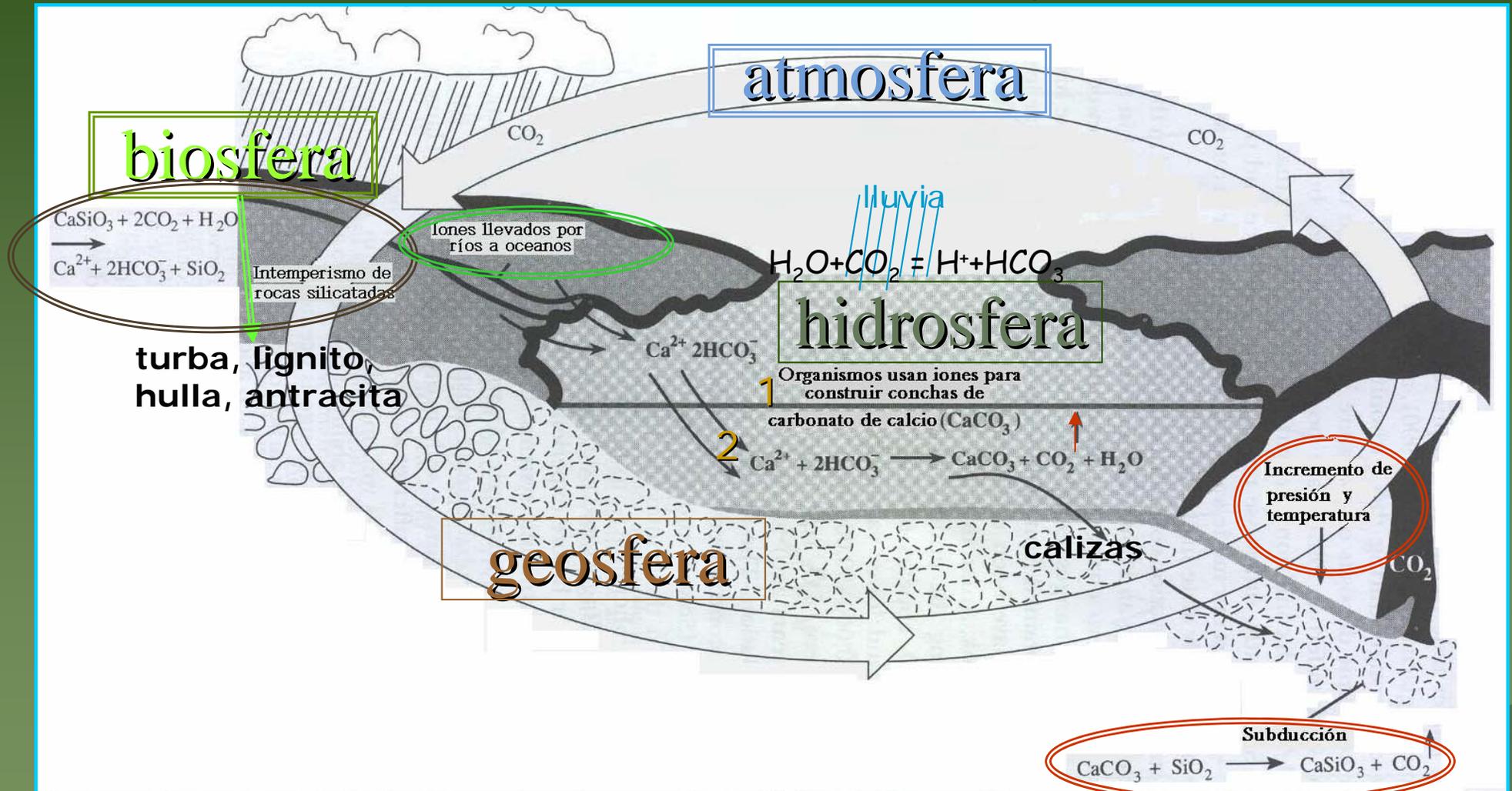
A. Ciclo global del Carbono generalizado

B. Partes del ciclo del Carbono simplificado para ilustrar sus movimientos cíclicos naturales

[Source: Modified after G. Lambert, 1987, *La Recherche*, 18, pp. 782-783, with some data from R. Houghton, 1993, *Bulletin of the Ecological Society of America*, 74(4), pp. 355-356.]

Ciclo del Carbono

La incorporación y salida del C en la geosfera y su paso por la hidrosfera son mucho más complejas:



La interacción entre los ciclos de los silicatos y los carbonatos en la superficie terrestre. El control atmosférico de largo tiempo del CO_2 es efectuado por la disolución del CO_2 en las aguas superficiales y por su acción en el intemperismo de las rocas. Este carbono es llevado al mar en forma de bicarbonato (HCO_3^-) y eventualmente es enterrado como sedimento carbonatado en la corteza. El CO_2 es liberado de regreso a la atmósfera cuando estas rocas se "metamorfosean" a altas temperaturas y presiones a profundidad en la Tierra (modificado de Kasting et al., 1988)

El Ciclo biogeoquímico del C: balance

Contribuciones **naturales** de CO₂ a la atmosfera:

0.1 PgC/año (vulcanismo)

Contribuciones **antropogénicas** de CO₂ a la atmosfera:

5.9 Pg C /año (quema combustibles fósiles)

0.1 Pg C /año (quema roca caliza)

1.5 Pg C /año (tala y cambio de uso del suelo)

7.6 Pg C / año (total)

Sumideros identificados

Océano: 2 Pg C /año (pero puede disminuir o saturarse)

Biota: 2 Pg C /año (pero en disminución por tala)

Rocas: 0.2 Pg C /año (pero en disminución por tala)

4.2 Pg C / año (total)

7.6 – 4.2 = 3.4 Pg C /año (balance)

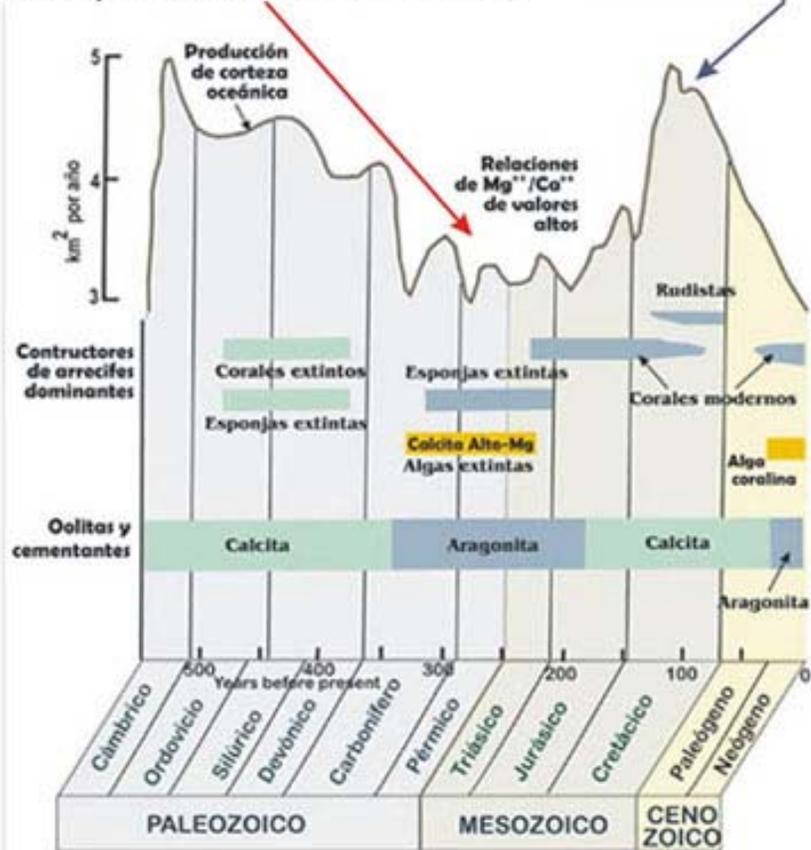
$> \text{CO}_2$

$< \text{CO}_2$



Crecimiento o expansión (spreading) LENTA

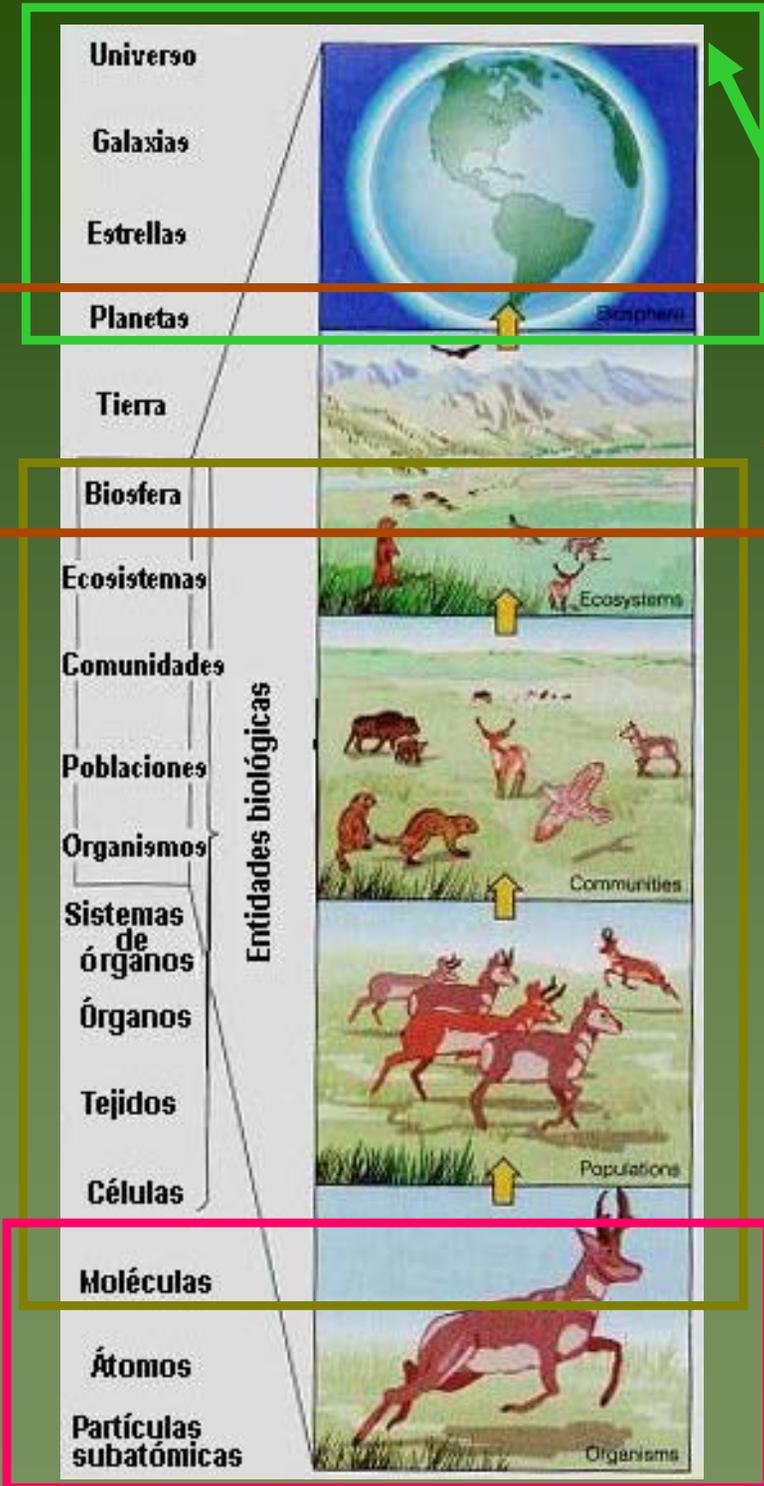
Dorsales Oceánicas de poco volúmen ∴ Nivel del mar baja



Retroalimentación negativa

Rápido ($> \text{CO}_2$):
= mares más cálidos y $>$ depósito de CO_2

Lento ($> \text{CO}_2$):
= mares más fríos y $> \text{CO}_2$ sin atrapar



Escalas de tiempo y unidades de distancias. Según sea la velocidad del proceso en observación.

Astronomía y Ciencias Espaciales (Física)

Millones de años / km- Unidades astronómicas-años luz- pársecs

Geología

Cientos-miles-millones de años / m-km

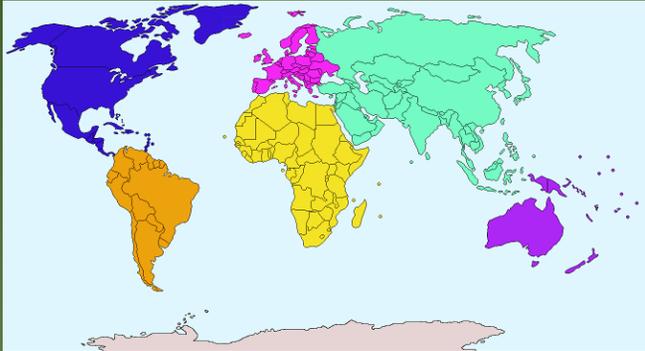
Biología

Horas-años-décadas-siglos / cm-m-km

Física y Química

Segundos – minutos / Micrones, micras

El Tiempo Geológico: la 4ª dimensión en CT es un concepto fuera de nuestra experiencia cotidiana



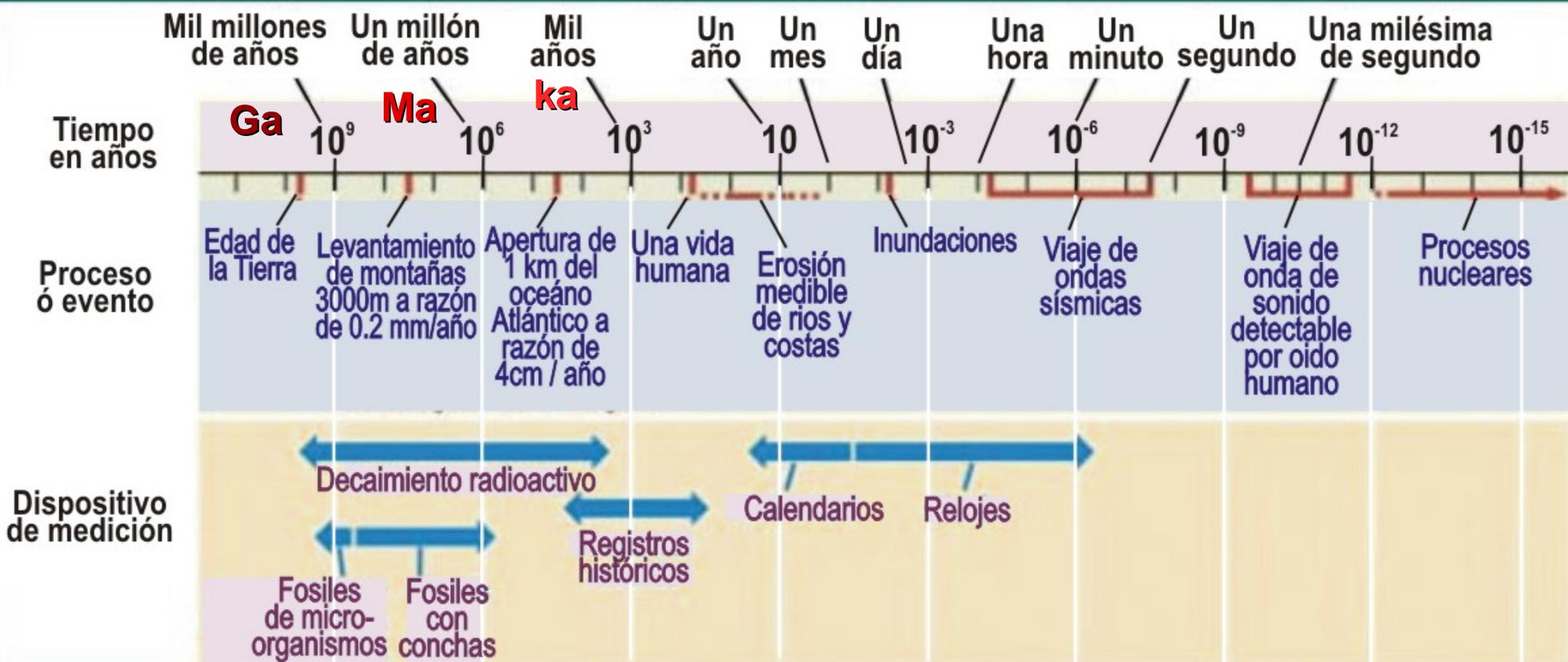
Los continentes se mueven a la velocidad que crecen las uñas



En el lapso de vida de una persona África y América del Sur se separan 3 metros



Tiempo requerido para algunos procesos



La Tierra evoluciona en tiempos demasiado largos
 Como darnos una idea real de los tiempos geológicos?

No es lo mismo 100 mil años que 1 millón o 100 millones Pero para nuestra experiencia son todos tiempos enormemente largos!!!!!!!

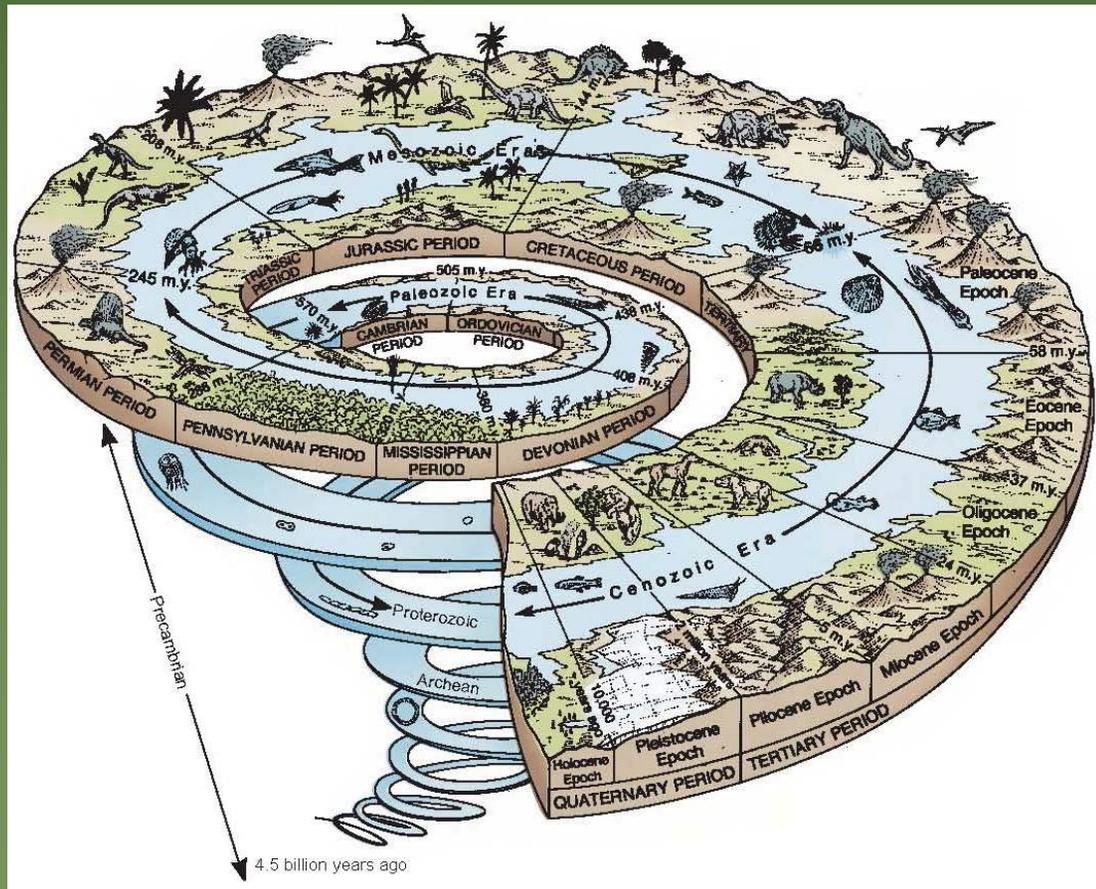


Son el cuerpo del delito, la escena del crimen. Testigos mudos dispuestos a confesar si sabemos cómo preguntar y qué preguntar

¿Cómo podemos saber que existen estas escalas de tiempo?

¿Cómo se puede saber que sucedió?

Por medio del estudio de las **ROCAS**



Estudian a los sedimentos, procesos que los forman y rocas en las que se convierten:

Sedimentología y Estratigrafía

Estudian a las rocas y procesos por los que se forman:

Petrografía y Petrología

Interpreta el conjunto de datos registrados en las rocas y crea modelos que explican los escenarios bajo los que se formaron y su secuencia

Geología Histórica

Método Científico

Observar y elaborar modelos

El tiempo

El método científico en Ciencias de la Tierra

La Ciencia se construye a partir de inferencias derivadas de observación de eventos tanto reales como fuera del alcance de nuestra experiencia directa. Una inferencia es una conclusión basada en la información disponible y el razonamiento en el marco de lo que conocemos.

Pasos básicos del Método Científico

- Observación.
 - Formación de una conclusión preliminar ó hipótesis.
 - Experimentación o puesta a prueba de la hipótesis hasta que la propuesta original se deseche, modifique y/o confirme para llegar a una teoría.
- 

Hipótesis, Teorías y Leyes

Aunque las teorías se basan en observaciones confirmadas por resultados experimentales y no contienen inconsistencias internas ni con el “estado del arte”, muchas de ellas no pueden ser probadas absolutamente.

En algunos casos particulares, las observaciones son tan evidentes y universales que no hay duda de su veracidad, tal es el caso de las inferencias que se convierten en **Leyes** porque se basan en eventos que siempre ocurren bajo cualquier condición.

Axiomas

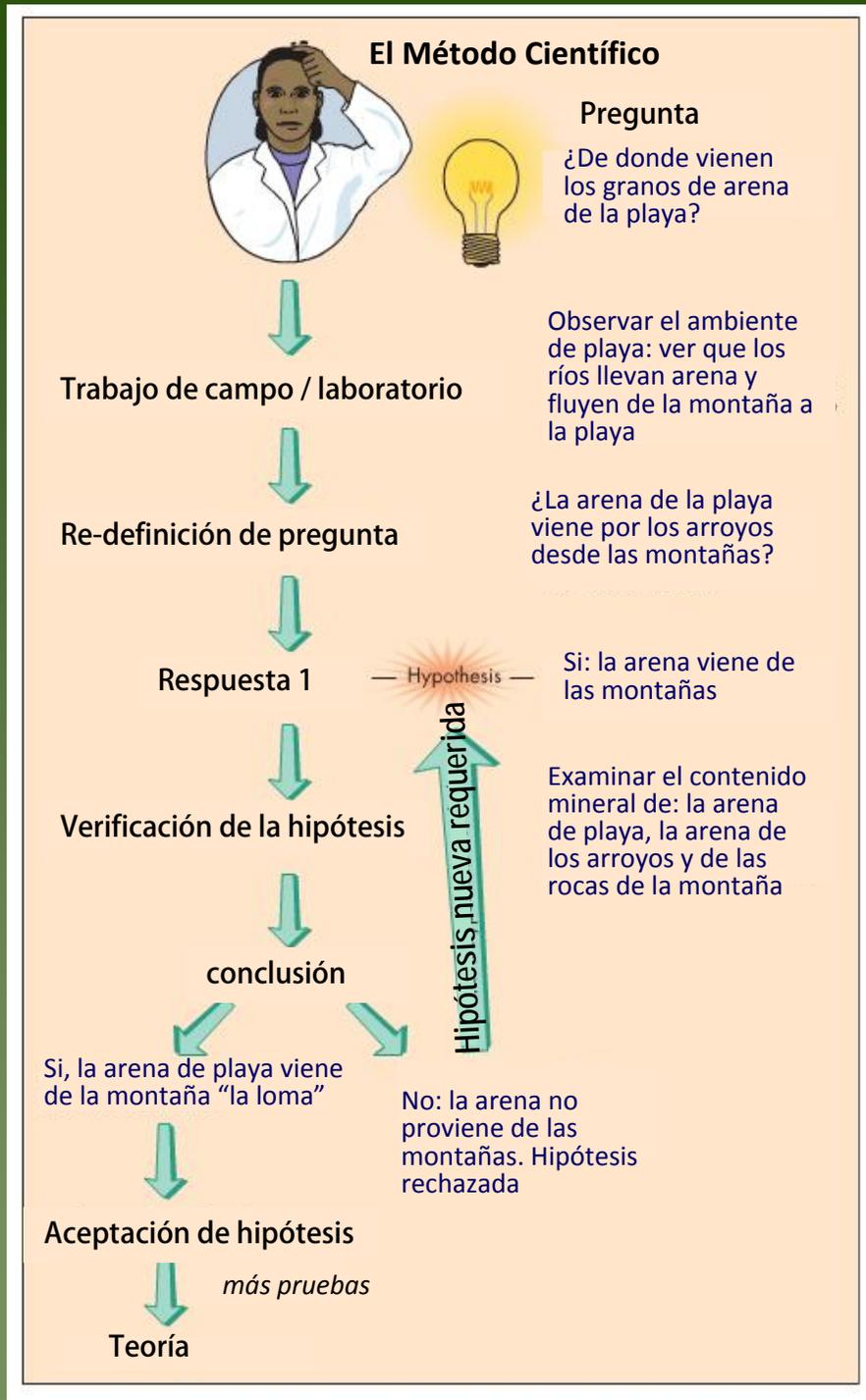
premisas ó proposiciones tan evidentes que no requieren demostración

Hipótesis, Teorías y Leyes

En las Ciencias de la Tierra nos enfrentamos a un problema con la observación: la escala del tiempo y del espacio.

P. ej., en la Geología las observaciones son indirectas ya que se basan a su vez en inferencias de 2º orden derivadas de la observación de las rocas (evidencia de los eventos terrestres): *se observan granos grandes y angulosos, de x mineral o minerales y.....*

La experimentación se realiza construyendo modelos que tienen que explicar todas las evidencias encontradas y ser consistentes.



¿Cuál es la edad de la tierra?

Observar cuánto tardan en ocurrir los procesos geológicos

Cuál es el proceso geológico más antiguo y que roca lo registra

Cuál es la edad de los meteoritos, de las rocas de la luna, de la roca más antigua

miles de años M de a miles de Ma

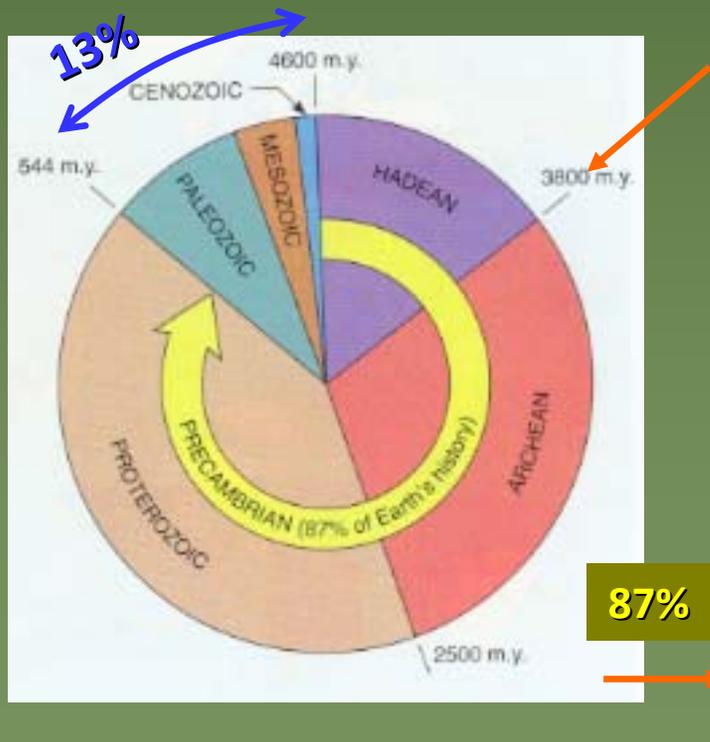
Examinar un proceso que ocurra siempre al mismo ritmo y que pueda medirse en las rocas

No hay vestigios de un comienzo ni evidencia de un final

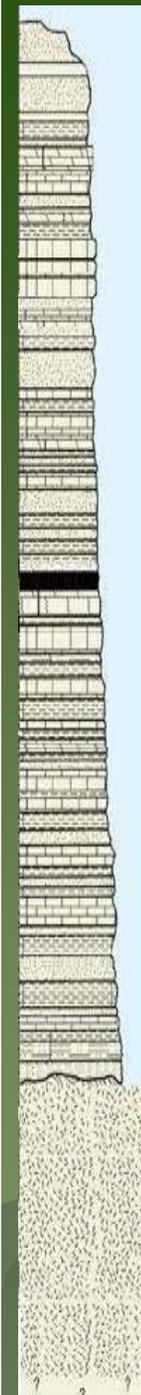
Calendario de las Edades de la Tierra

Tabla geológica del tiempo

Tabla estratigráfica



EON	ERA/ERATEMA	PERIODO/SISTEMA	Época/Serie	Ma		
FANEROZOICO	CENOZOICA CZ	Cuaternario Q	Holoceno	0.01		
			Pleistoceno	1.81		
		Terciario T	Neógeno N	Plioceno	5.3	
				Mioceno	23	
				Oligoceno	33.9	
			Paleógeno E	Eoceno	56.8	
				Paleoceno	65.5	
				Cretácico K	Tardío/Superior	145.5
					Temprano/Inferior	145.5
				Jurásico J	Tardío/Superior	199.6
	Medio	199.6				
	Temprano/Inferior	199.6				
	Triásico TR	Tardío/Superior	251			
		Medio	251			
	Pérmico Pe	Temprano/Inferior	251			
		299	299			
	PALEOZOICA PZ	Carbónífero C	Pensilvánico C2	359.2		
			Misisípico C1	359.2		
		Devónico D	Tardío/Superior	416		
Medio			416			
Temprano/Inferior			416			
Silúrico S		Tardío/Superior	443.7			
		Medio	443.7			
Ordovícico O		Temprano/Inferior	488.3			
		488.3	488.3			
Cámbrico €		Tardío/Superior	542			
	Medio	542				
	Temprano/Inferior	542				
Precámbrico PE	Proterozoico PR	Neoproterozoico NP	1000			
		Mesoproterozoico MP	1600			
		Paleoproterozoico PP	2500			
	Archeano AR	Neoarcheano NA	2800			
Mesoarcheano MA		3200				
Paleoarcheano PA		3600				
Eoarcheano EA		3800				
Hadeano			3800			



Principios Estratigráficos: **Tiempo relativo**

+ Axiomas estratigráficos *Nicolas Steno* (1668),
Charles Lyell (1830)

horizontalidad original,
superposición, continuidad lateral,
relaciones corte,

+ Uniformitarismo, *James Hutton* (1785)

No hay vestigios de un comienzo ni evidencia de un final

+ Sucesión faunística, *William Smith* (1815)

Tiempo Geológico

Diversas metodologías se desarrollaron para conocer la edad de la Tierra y la magnitud del tiempo geológico

Cronología de registros documentales, *James Usher* (1650)
4004 AC

Salinidad del Océano, *Edmund Halley* (1715), *John Joley* (1899) 90 Ma

Velocidad de sedimentación 3 Ma - 1,500 Ma

Velocidad de evolución de los organismos, *Lyell* (1830)
80 Ma inicio Cz

Velocidad de enfriamiento de la Tierra, *Lord Kelvin* (1890's) 100/24-40 Ma

Metodologías modernas

Radioactividad como reloj

Becquerel, 1896; Rutherford, 1905; Bottwood, 1907; espectrometría de masas 1950.

Decaimiento radioactivo (vida media)

4560_(m), 4540_(T) 4530_(l), 4350_(drs), 4030_(rs) Ma

Otros fenómenos relacionados con el decaimiento
(daños a la red cristalina)

Cambios en el campo magnético (posición del polo,
cambios de polaridad, variaciones de intensidad)

Procesos de velocidad de alteración conocida (obsidianas,
aminoácidos)

Procesos de crecimiento a ritmos constantes (anillos de
crecimiento, varves)

rocas fechadas: m = meteorito, l = luna, rs = rocas sedimentaria; drs = grano de roca sedimentaria

Aplicando el método científico y tecnologías modernas se conoce la edad de la Tierra y se puede conocer potencialmente la edad de cualquier evento registrado en las rocas.

Aplicando el método científico y tecnologías modernas se proponen, cada vez mas innovadoras hipótesis, para explicar los escenarios, procesos, secuencia de eventos de la historia de la Tierra.

Aplicando semejantes técnicas y metodologías es posible estudiar otros cuerpos planetarios.

Se pueden hacer predicciones de hacia donde se encuentra determinado tipo de roca o recurso mineral. Y también sobre como ocurrirán algunos procesos inmediatos, mediatos y en futuro lejano que con suerte todavía nos tocará vivir a la especie humana

El mejor ejemplo sobre la aplicación del método científico en Ciencias de la Tierra es el desarrollo de la **Teoría de la Tectónica de Placas** a partir de la *Hipótesis de la Deriva Continental*

Pese a la existencia de numerosas evidencias: ajuste de continentes, fósiles y secuencias geológicas similares entre continentes separados; reconstrucciones paleogeográficas basadas en el clima interpretado con base en el registro fósil. Hipótesis que propuso Wegener en 1915

No era consistente con el estado del arte del conocimiento de su tiempo

Solo pudo ser confirmada como Teoría hasta 1968 por Tuzo Wilson, debido a la incorporación de nuevas observaciones (Wadati y Benioff; Harry Hess, Vine & Matthews, Runcorn) a la luz de nuevos conocimientos construidos con ellas; conocimientos que conformaron las disciplinas emergentes: Sismología y Paleomagnetismo.

Pero eso, ya es otra historia...