

Tiempo, Clima y Cambio Climático

Parte1: Tiempo - Clima, Elementos y Factores del Clima



Clima y Tiempo

Weather & Climate

➤ **Tiempo.**- Condiciones atmosféricas en una región en un momento determinado

Weather

➤ **Clima.**- Patrón promedio de las condiciones atmosféricas anuales (ca. 30 años) del tiempo

Climate

¿Cómo se define, de qué depende, el clima de un lugar, de una región, del planeta?

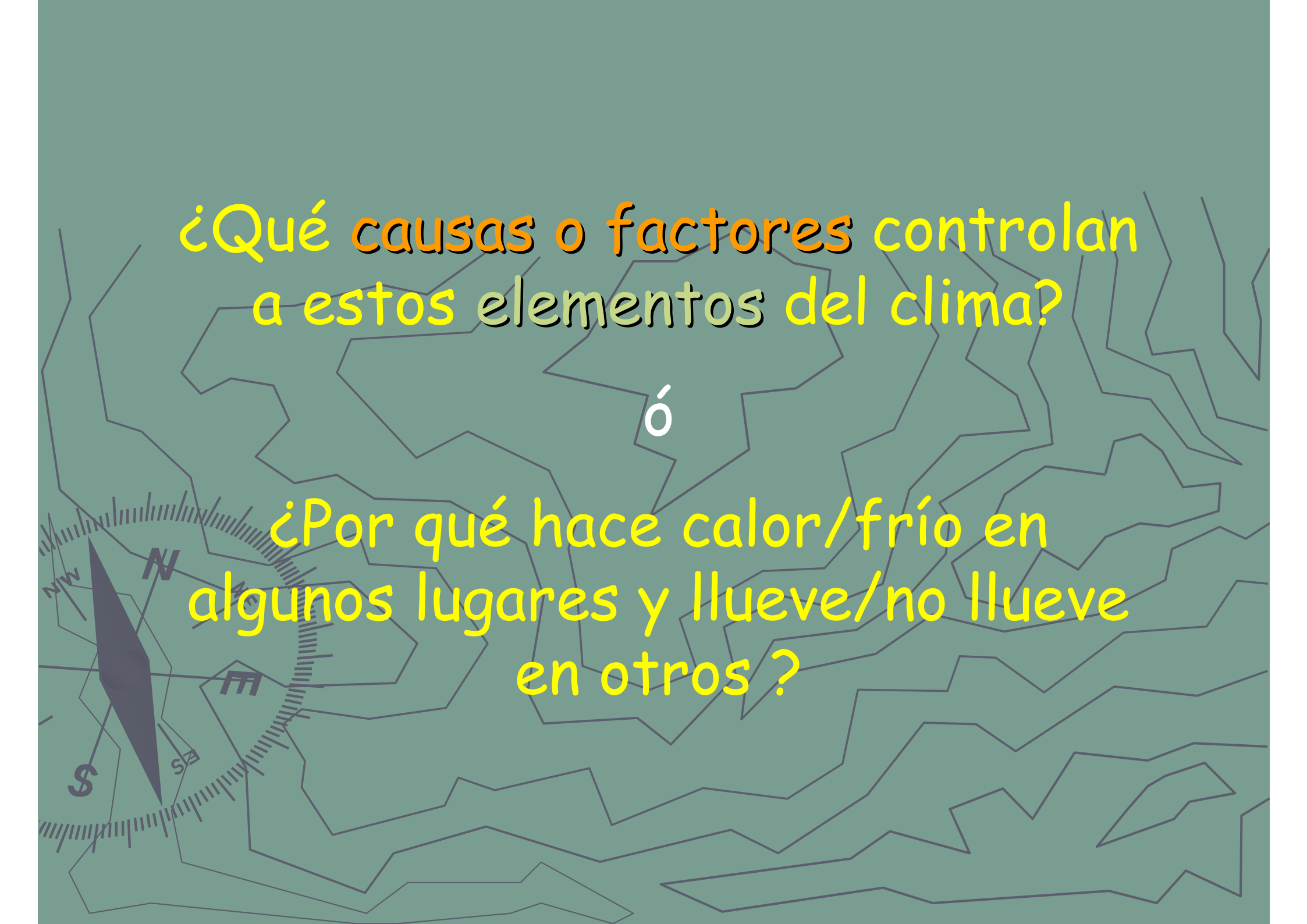
¿Por qué varía (?) el clima de un lugar al otro, de un tiempo a otro?



Elementos del Clima

- **Características atmosféricas** objetivamente observables y cuantificables, de los que depende el tipo de clima y las clasificaciones del clima (*vg. cálido, seco, húmedo, templado etc.*):

- 1) **Temperatura** - evaporación
- 2) **Humedad**: precipitación (en cm anuales), humedad relativa*, nubosidad**, etc.
- 3) **Presión atmosférica y vientos**
(760 mm Hg = 10313 milibars (kg/cm²)
= 101.3x10³ Pa)

A topographic map with contour lines is shown in the background. In the bottom-left corner, there is a compass rose with a dark arrow pointing towards the top-left. The cardinal directions are labeled: 'N' for North, 'S' for South, 'NW' for Northwest, and 'SE' for Southeast. The map lines are light gray and the background is a dark teal color.

¿Qué causas o factores controlan a estos elementos del clima?

ó

¿Por qué hace calor/frío en algunos lugares y llueve/no llueve en otros ?

Factores del Clima

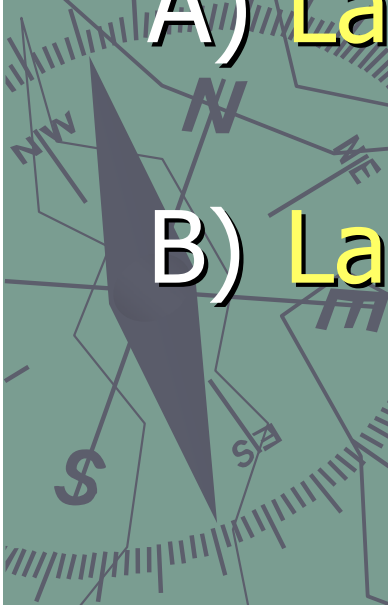
- Factores de la Tierra que determinan, o de los que depende, la distribución de los elementos del clima ($^{\circ}T$, P_p , P) en la Tierra y consecuentemente, el tipo de clima de una región
 - 1) Latitud.
 - 2) Distribución tierra – océano.
 - 3) Circulación atmosférica global (vientos dominantes).
 - 4) Corrientes Oceánicas.
 - 5) Altitud.
 - 6) Orografía.
 - 7) Albedo (reflectancia o radiación devuelta por la superficie terrestre: colores claros y brillantes [hielo, nubosidad clara] reflejan más – absorben menos- que colores oscuros y mates [cubierta vegetal]).

Controles del Clima

A nivel global, el sistema climático terrestre (forma como interactúan los factores del clima), está controlado por:

A) La interacción de energía Sol – Tierra.

B) La órbita terrestre.



A) Interacción de energía Sol - Tierra

A.1) Sol

La energía solar es el motor del sistema climático.

Se considera emisión de energía del Sol constante: 2 cal/m^2 .

No obstante,

- A lo largo de los 4,600 millones de años de la historia terrestre, la radiación solar pudo haber cambiado considerablemente. Teorías afirman que en su inicio (Arqueano) el Sol emitía 25 a 30% menos de energía (Paradoja del Sol Precámbrico frío).

- En los ciclo de variación de la intensidad manchas solares de 11 años, la radiación solar también varía.

Control de efectos: ligeras-moderadas variaciones a escala de cultura humana e importantes/grandes variaciones a escala de tiempo geológico.

A.2) Tierra

a) La **forma redonda** de la Tierra. Los rayos solares inciden diferente en el ecuador (perpendiculares) que en los polos (tangenciales). Su consecuencia es: °T más alta en ecuador y más baja en polos (existencia de zonas climáticas terrestres paralelas al ecuador).

Control "invariable".

b) **Atmósfera**. Composición química y Estructura de la atmósfera.

Balance de energía.- *efecto invernadero*.

Ozono absorbe radiación UV pero la re-emite como radiación de onda larga hacia la atmósfera por lo que *favorece efecto invernadero*. Consecuencia: °T promedio de 15°C en lugar de -15°C

Control de efectos variables a escala de vida y cultura humana.

A.2) Tierra

c) **Geosfera.** La actividad interna de la Tierra, desde el inicio de su formación (diferenciación interna, degasamiento, vulcanismo, tectónica de placas), ha sido la causa original de la existencia y composición de la atmósfera e hidrósfera y sus cambios a lo largo del tiempo, \Rightarrow cambios en el sistema climático debido a procesos geológicos que:

- Modifican la cantidad de CO_2 en la atmósfera (se atrapa con erosión y sedimentación y se libera vulcanismo)
- Modifican el tamaño y distribución de continentes - cuencas oceánicas (se modifican así varios factores climáticos)

Control de efectos variables a escala de tiempo geológico.

B) Características de la órbita terrestre.

/ La inclinación del eje terrestre (23.5°) es causa de estaciones del año

→ Solsticios = jun 21 (y 21 dic), rayos solares perpendiculares al Trópico de Cáncer (y Capricornio).

Verano e Invierno

→ Equinoccios = marzo 21 y septiembre 23, rayos solares perpendiculares al Ecuador.

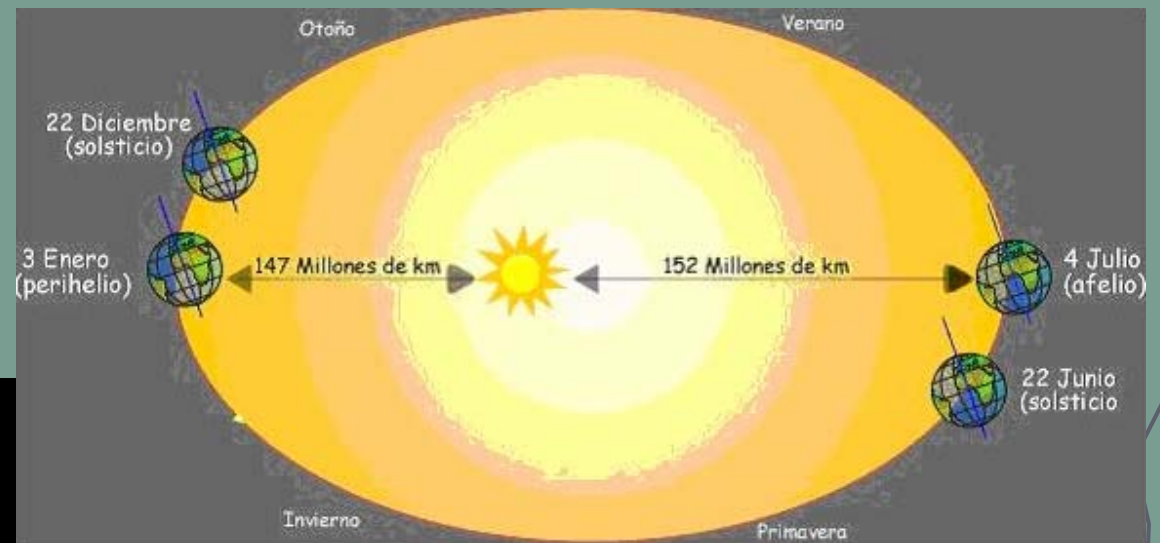
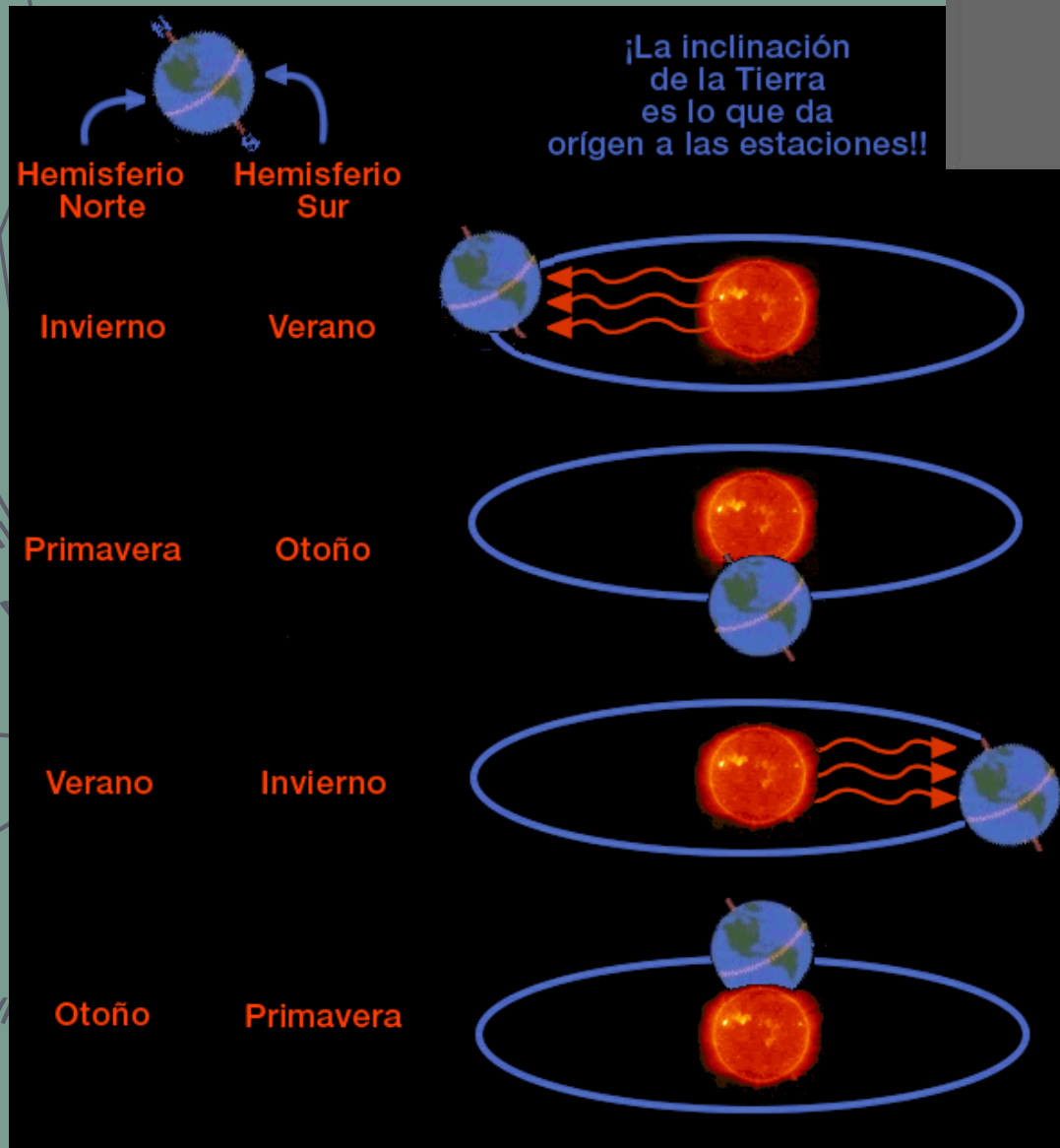
Primavera y Otoño

La órbita elíptica y excéntrica de la Tierra

→ Perihelio = 3 Enero "tempera" el invierno del HN y "magnífica" el del HS

→ Afelio = 4 Julio

¿Control invariable? ó ¿de efectos variables a escala de tiempo geológico?.



El Hemisferio Sur tiene potencialmente inviernos más rigurosos y veranos más cálidos de acuerdo con su posición de afelio en invierno y perihelio en verano.

No obstante, el hecho de que la mayor cantidad de océano esté en el hemisferio sur, aminora este efecto.

Consecuencias de la forma redonda de la Tierra y de las características descritas de su órbita, son la existencia y distribución de las siguientes:

Zonas térmicas

Tropical: 0 - 23.5°, el Sol pasa por el cenit (rayos inciden de manera perpendicular a la superficie terrestre) por lo menos una vez al año

Templado: 23.5 - 66.5°, el Sol nunca pasa por el cenit (rayos nunca inciden de manera perpendicular a la superficie)

Polares: 66.5 - 90°, el Sol no solo nunca pasa por el cenit sino que pasa tangencialmente por lo menos una vez al año.

Tiempo, Clima y Cambio Climático

Parte 2: Cambio Climático; evidencias, causas, ciclo del carbono.

¿Ha cambiado el clima?

Se cuenta con algunas evidencias directas y otras indirectas (proxies) de este cambio:

Evidencias directas:

Todas ellas son históricas, desde fotografías, pinturas, relatos; hasta registros de datos meteorológicos y documentos históricos. Todas ellas dan evidencia de cambios cualitativos a cuantitativos de las condiciones climáticas del pasado histórico

Evidencias indirectas

Registros de actividades **humanas** que reflejan cambios climáticos y sobre todo registros proxy de eventos **naturales** que reflejan cercanamente las condiciones y cambios climáticos del pasado histórico, reciente y geológico.

- Intensidad de las tormentas de arena en China,
- Presencia de Icebergs en Islandia,
- Precios de granos en Europa,
- Registros agrícolas,
- Registros arqueológicos, etc.,
- Niveles del Nilo en Cairo,
- Calidad de los vinos alemanes,
- Documentos históricos diversos,
- Relaciones del O_{18}/O_{16} con respecto a las relaciones actuales,
- Anillos de crecimiento de árboles, corales, o varves de lagos,
- Tipo de polen en sedimentos lacustres,
- Susceptibilidad magnética de sedimentos

Evidencias Históricas directas de CAMBIO CLIMÁTICO







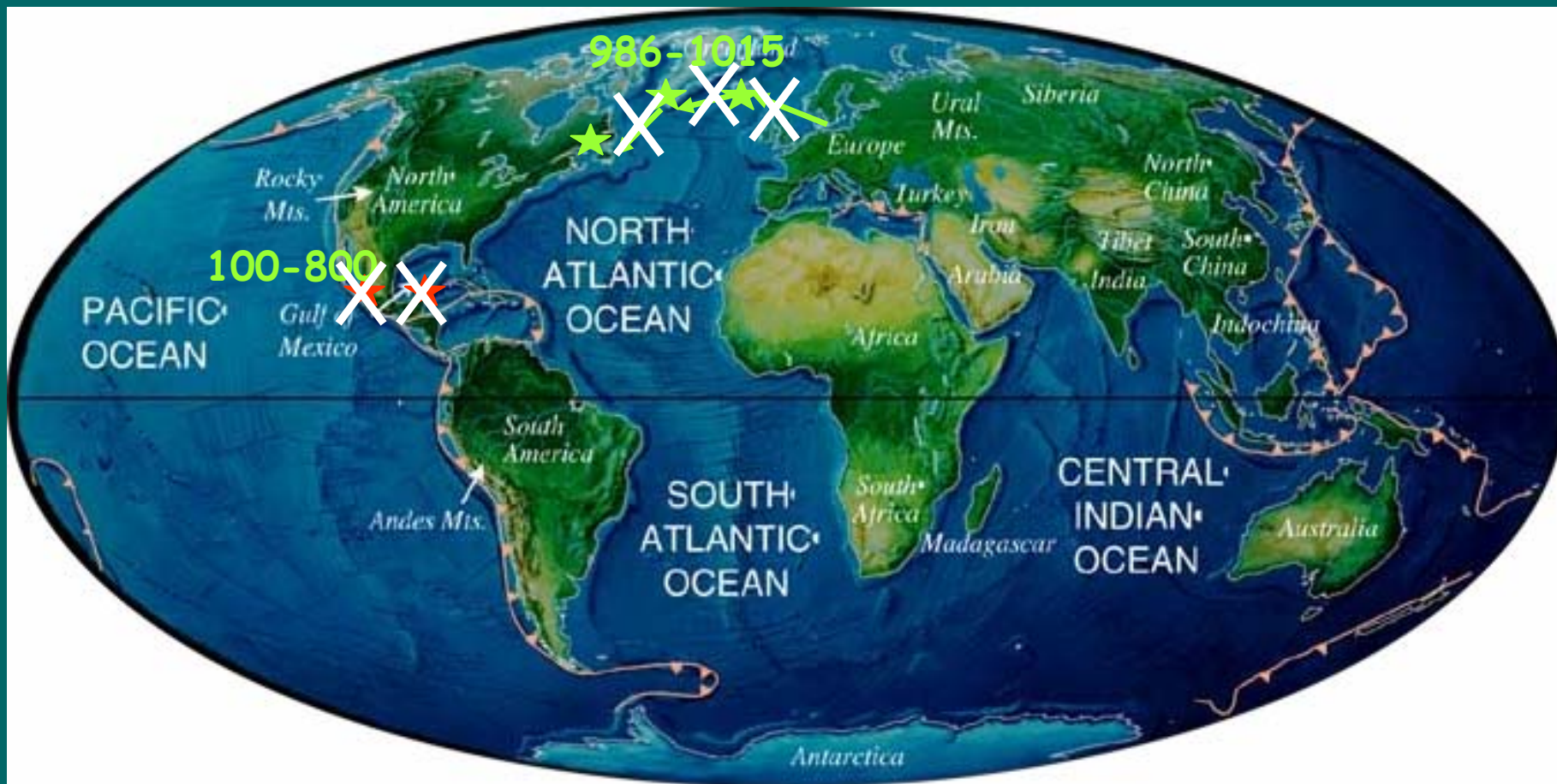
De las evidencias históricas (directas e indirectas) se conocen por ejemplo estos cambios climáticos:

En Edad Media.- Climas más benignos: ríos y canales del Norte de Europa no se congelaban en el invierno y se cosechaban uvas en Inglaterra.

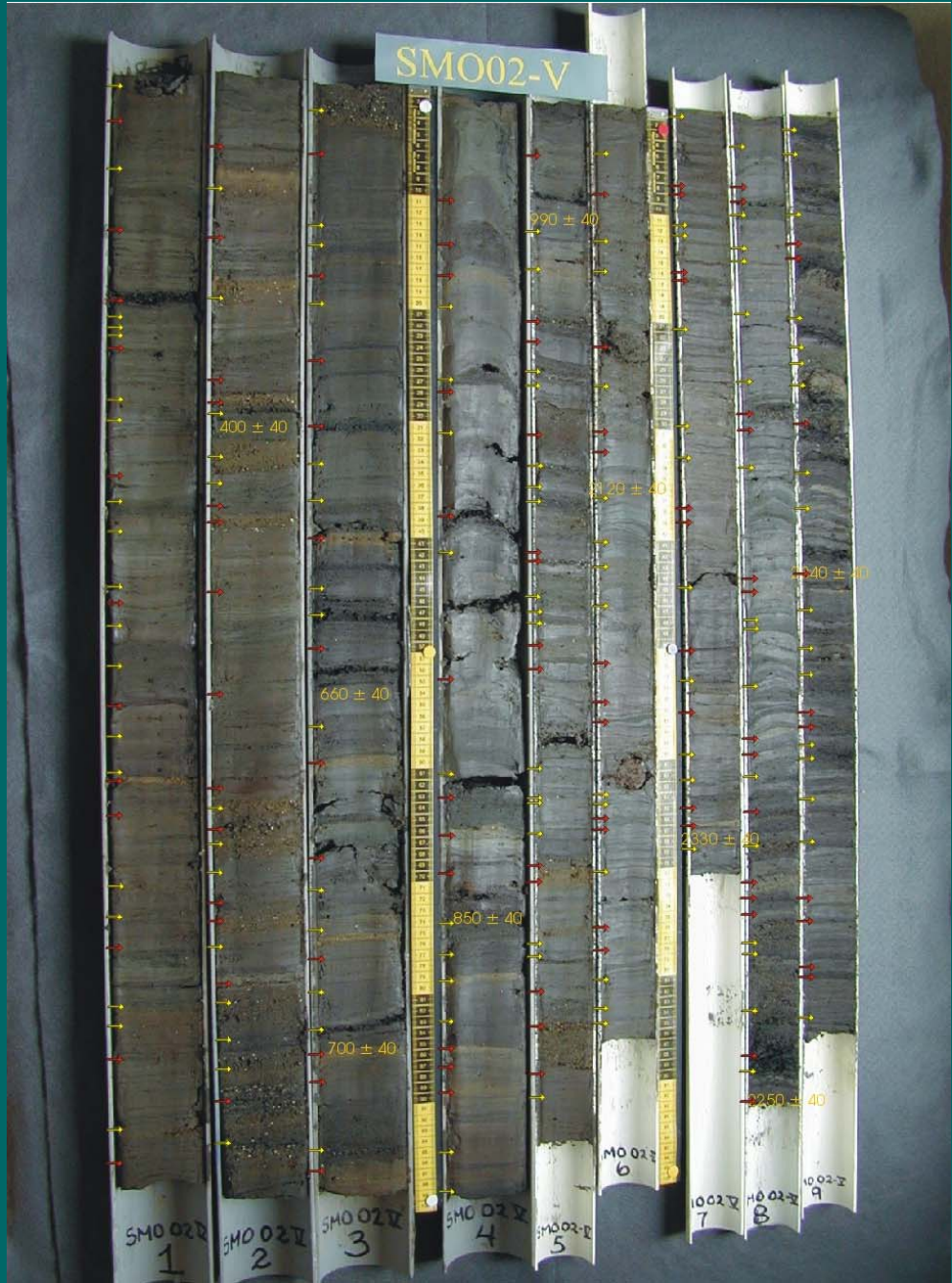
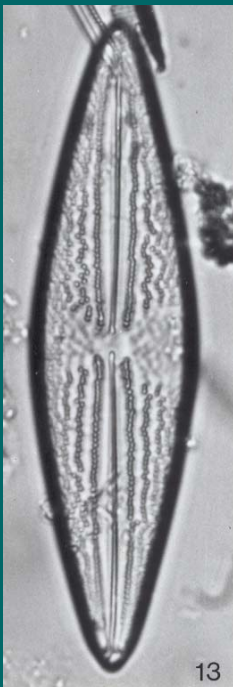
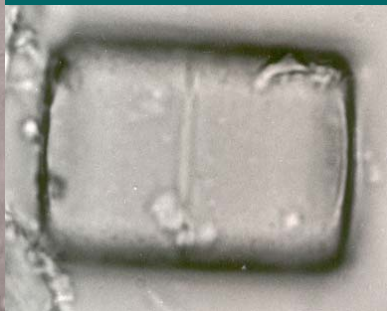
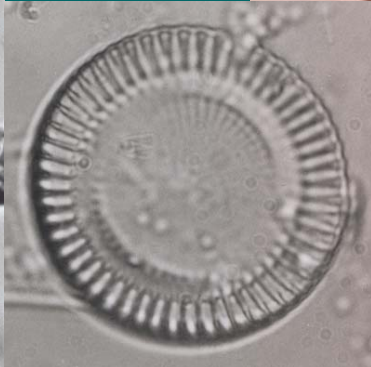
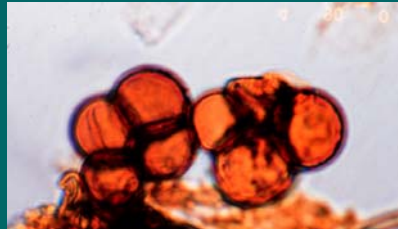
Posteriormente vinieron climas más fríos - *Pequeña Edad de Hielo (Little Ice Age)* de ca. 1200 hasta 1850-

Las sagas de los Vikingos que narran la colonización y abandono de Groenlandia corresponden a estos cambios.

La década de 1810 a 1819 fue una de las más frías de este último período y provocó la migración masiva de europeos a USA.



Evidencias Geológicas (indirectas) DE CAMBIO CLIMÁTICO





Todas las evidencias existentes indican que el Cambio Climático ha existido desde el inicio de la historia del planeta, hace 4,600 millones de años y que continuará durante el resto de la historia del planeta, pero entonces ...

¿ Pueden los elementos ($^{\circ}T$, Pp , P) ó **factores** (ej. circulación atmosférica y oceánica; orografía, albedo) del clima cambiar a lo largo de la historia de la Tierra, y cambiar así el clima dominante ?

¿cómo?, ¿por qué?

¿POR QUÉ CAMBIA EL CLIMA?

1. Variación del EFECTO INVERNADERO por > CO₂ ó < CO₂ en la atmósfera (modifica la °T).
2. Variación en el arreglo y posición de los continentes y montañas (modifica continentalidad, corrientes oceánicas y patrones atmosféricos, barreras de corrientes, casquetes polares; distribución de °T y Pp).
3. Variación en la actividad solar
4. Por variaciones en la distancia y orientación de la Tierra con respecto al sol: Ciclos de Milankovitch

¿QUÉ NOS DEPARA EL FUTURO?

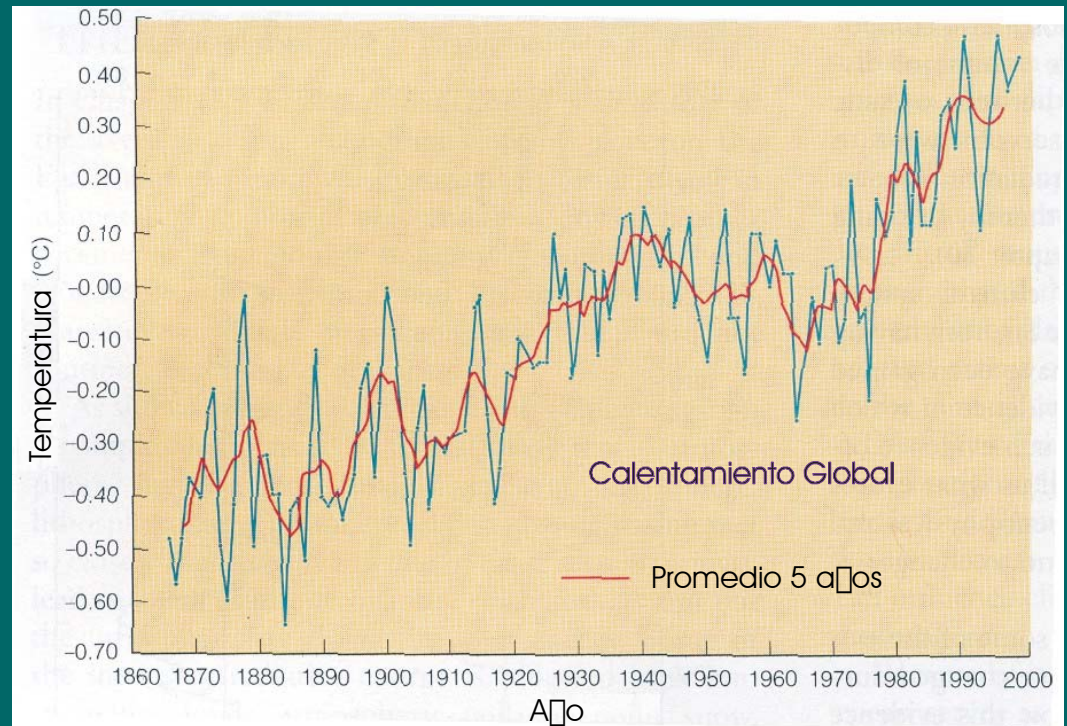
Durante un millón de años la Tierra ha pasado por ciclos glaciares de 100,000 años .

La actividad del hombre está incrementando la cantidad de CO_2 en la atmósfera favoreciendo el calentamiento global (¿o son los ciclos de las manchas solares?) .

¿QUÉ NOS DEPARA EL FUTURO?

Durante un millón de años la Tierra ha pasado por ciclos glaciares de 100,000 años .

La actividad del hombre está incrementando la cantidad de CO_2 en la atmósfera favoreciendo el calentamiento global (¿o son los ciclos de las manchas solares?).



¿QUÉ NOS DEPARA EL FUTURO?

Durante un millón de años la Tierra ha pasado por ciclos glaciares de 100,000 años .

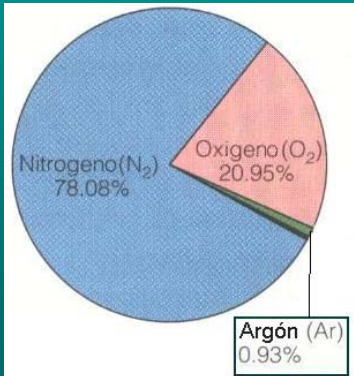
La actividad del hombre está incrementando la cantidad de CO_2 en la atmósfera favoreciendo el calentamiento global (¿o son los ciclos de las manchas solares?).

El futuro cercano será seguramente de calentamiento, pero lo más probable es que "pronto" (¿3 a 5 mil años?) inicie la siguiente glaciación.

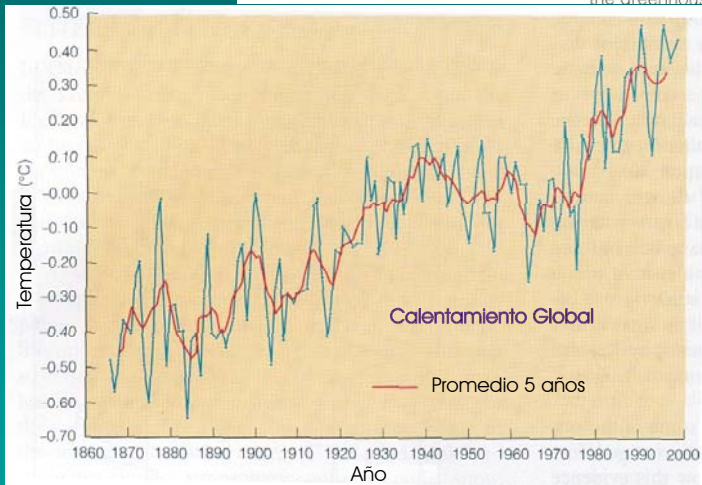
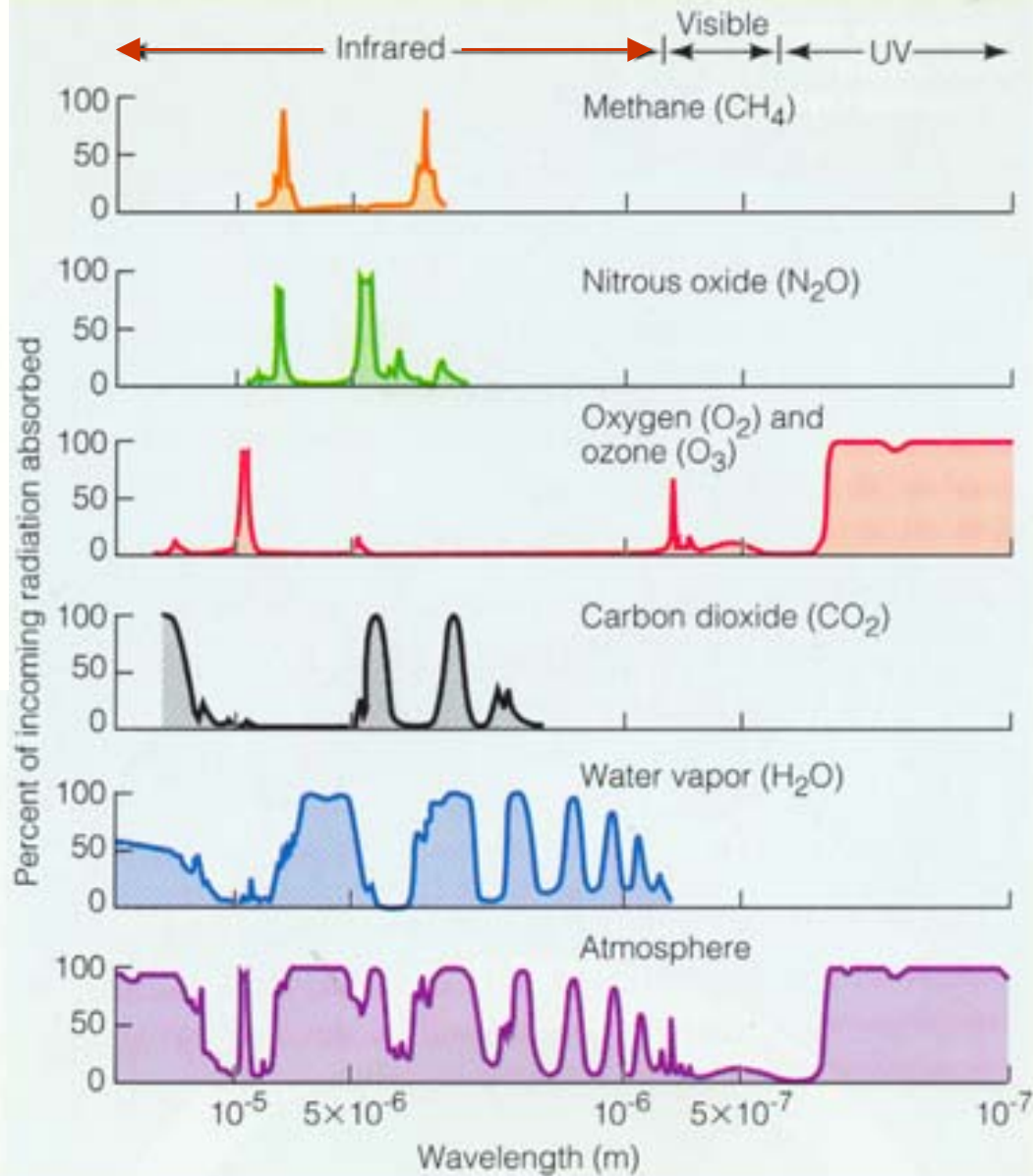
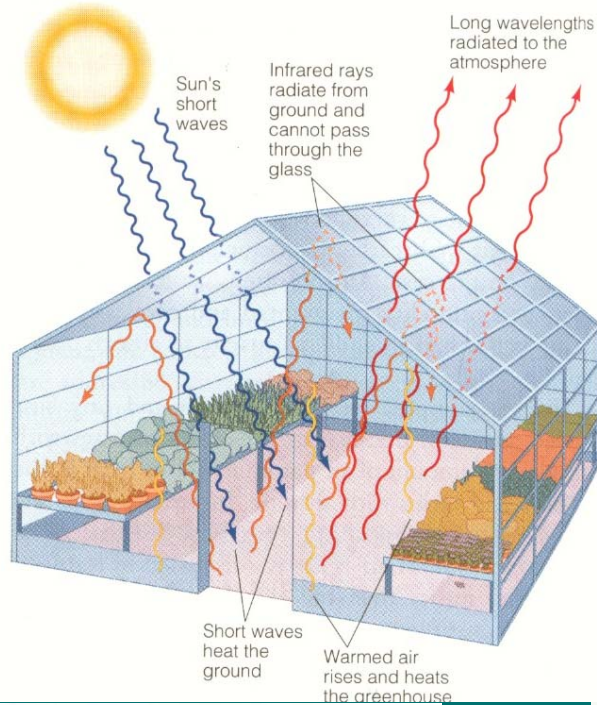
¿POR QUÉ CAMBIA EL CLIMA?

1. Variación del EFECTO INVERNADERO por $> CO_2$ ó $< CO_2$ en la atmósfera (modifica la $^{\circ}T$).
2. Variación en el arreglo y posición de los continentes y montañas (modifica continentalidad, corrientes oceánicas y patrones atmosféricos, barreras de corrientes, casquetes polares; distribución de $^{\circ}T$ y Pp).
3. Variación en la actividad solar
4. Por variaciones en la distancia y orientación de la Tierra con respecto al sol: Ciclos de Milankovitch

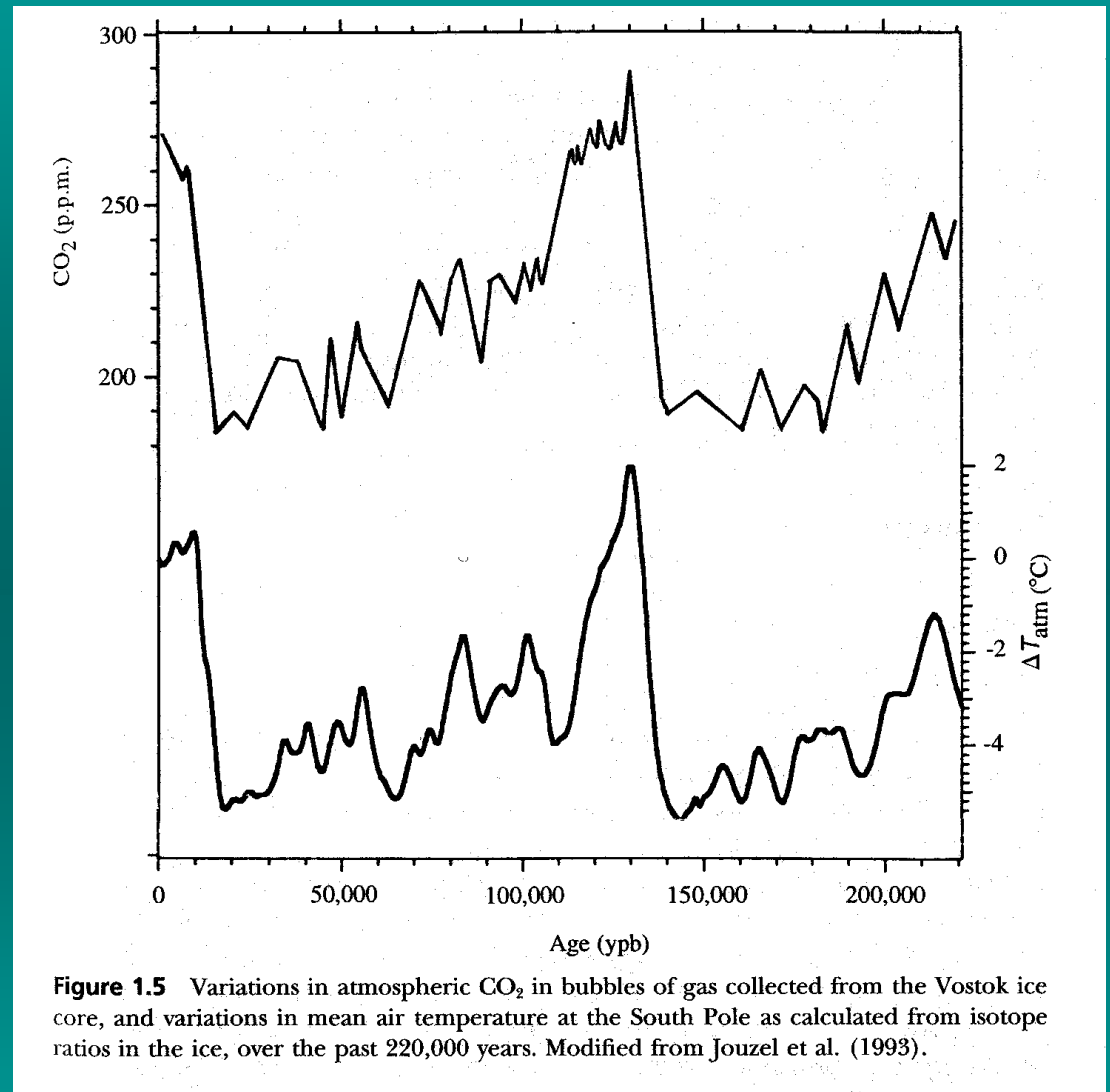
1. Variación del Efecto Invernadero por $\gt CO_2$ ó $\lt CO_2$ en la atmósfera



Todos los otros gases 0.04%	
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.035%
Neón (Ne)	0.0018%
Helio (He)	0.00052%
Metano (CH ₄)	0.00014%
Kriptón (Kr)	0.00010%
Oxido nitroso (N ₂ O)	0.00005%
Hidrógeno (H ₂)	0.00005%
Ozono (O ₃)	0.000007%

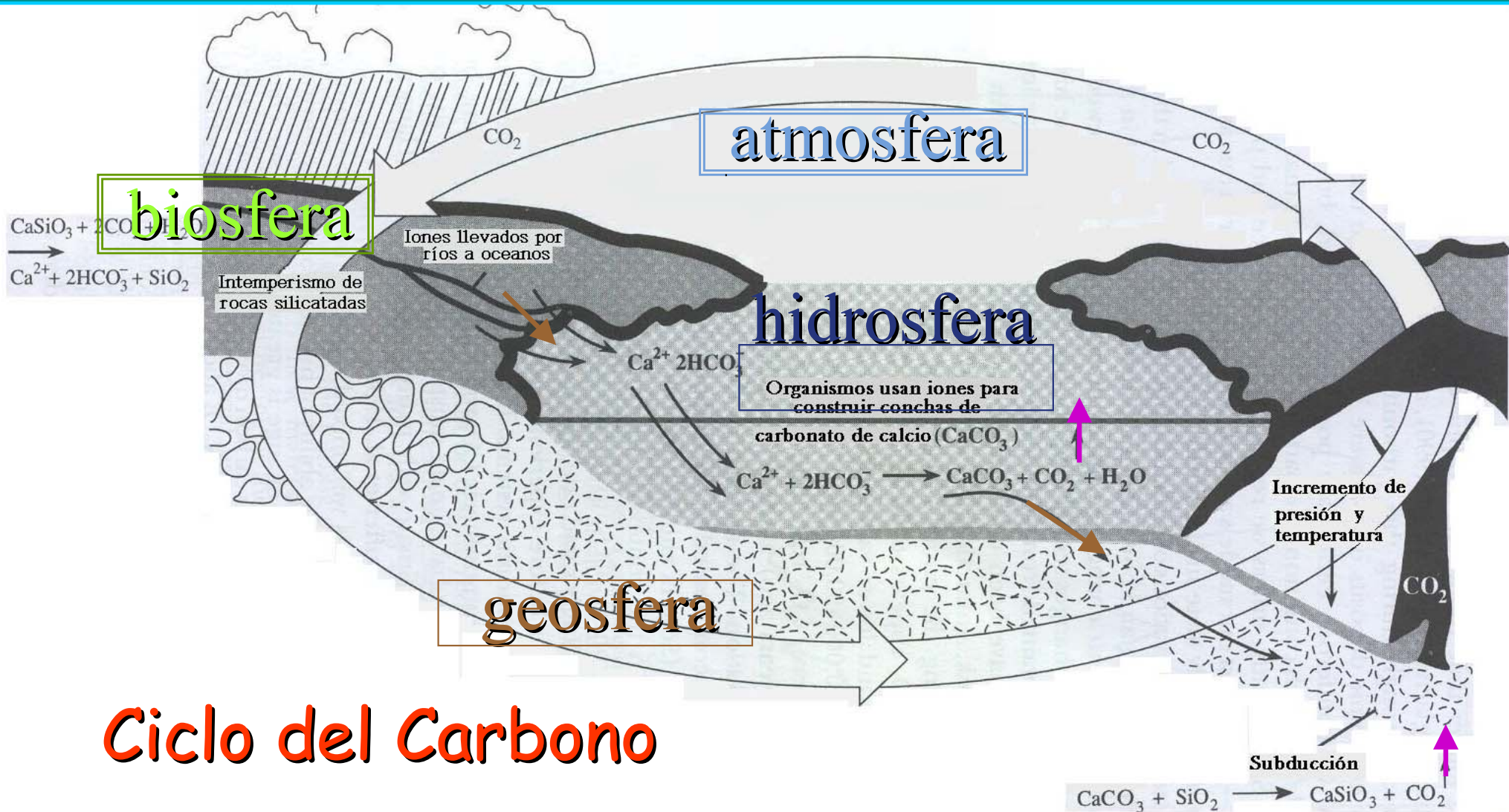


El aumento o
disminución de
BIÓXIDO DE
CARBONO
(CO_2) en la
atmósfera
registrado en
burbujas de aire
de hielo glaciar
y otros
indicadores de
 $^{\circ}\text{T}$ (isotopía de O)



Pero, ¿por qué varía el CO_2 en la atmósfera?

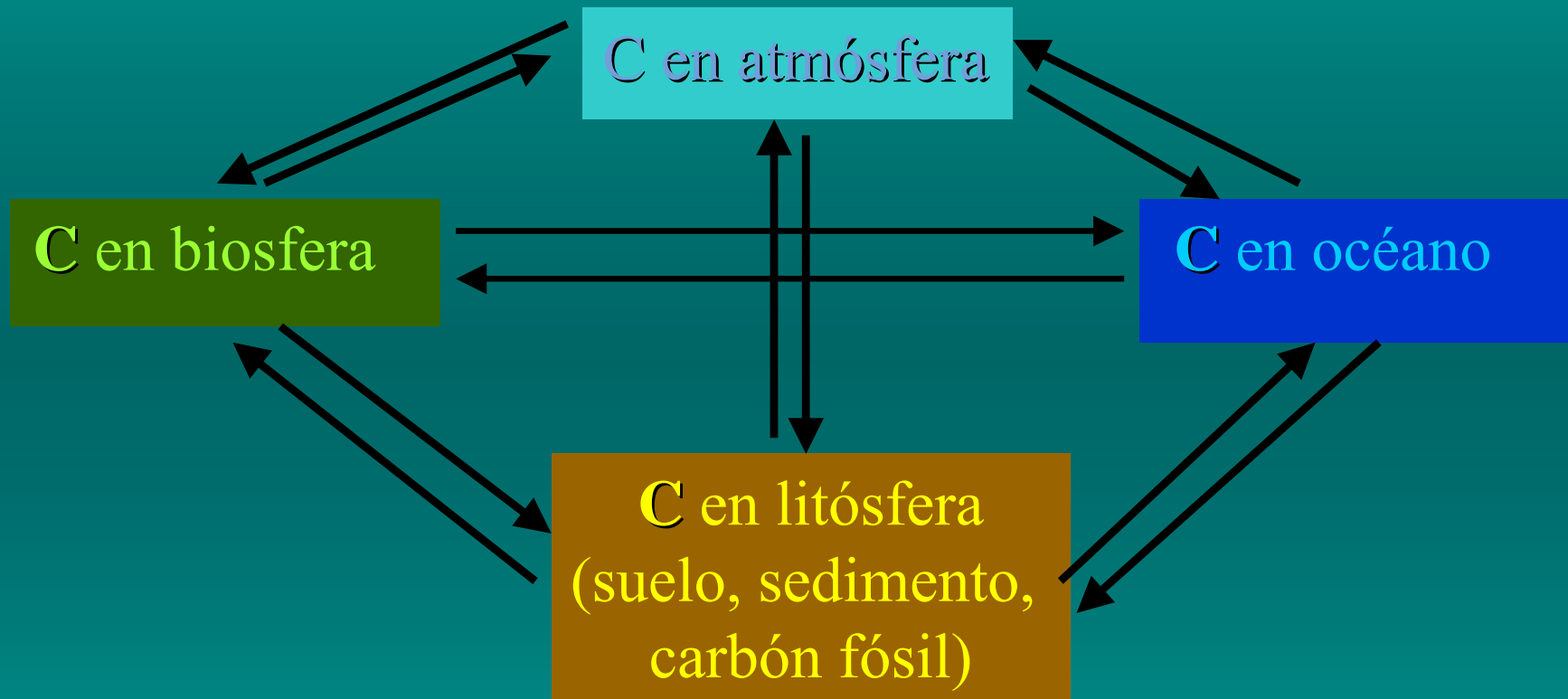
¡Por cualquier alteración al ciclo del Carbono!



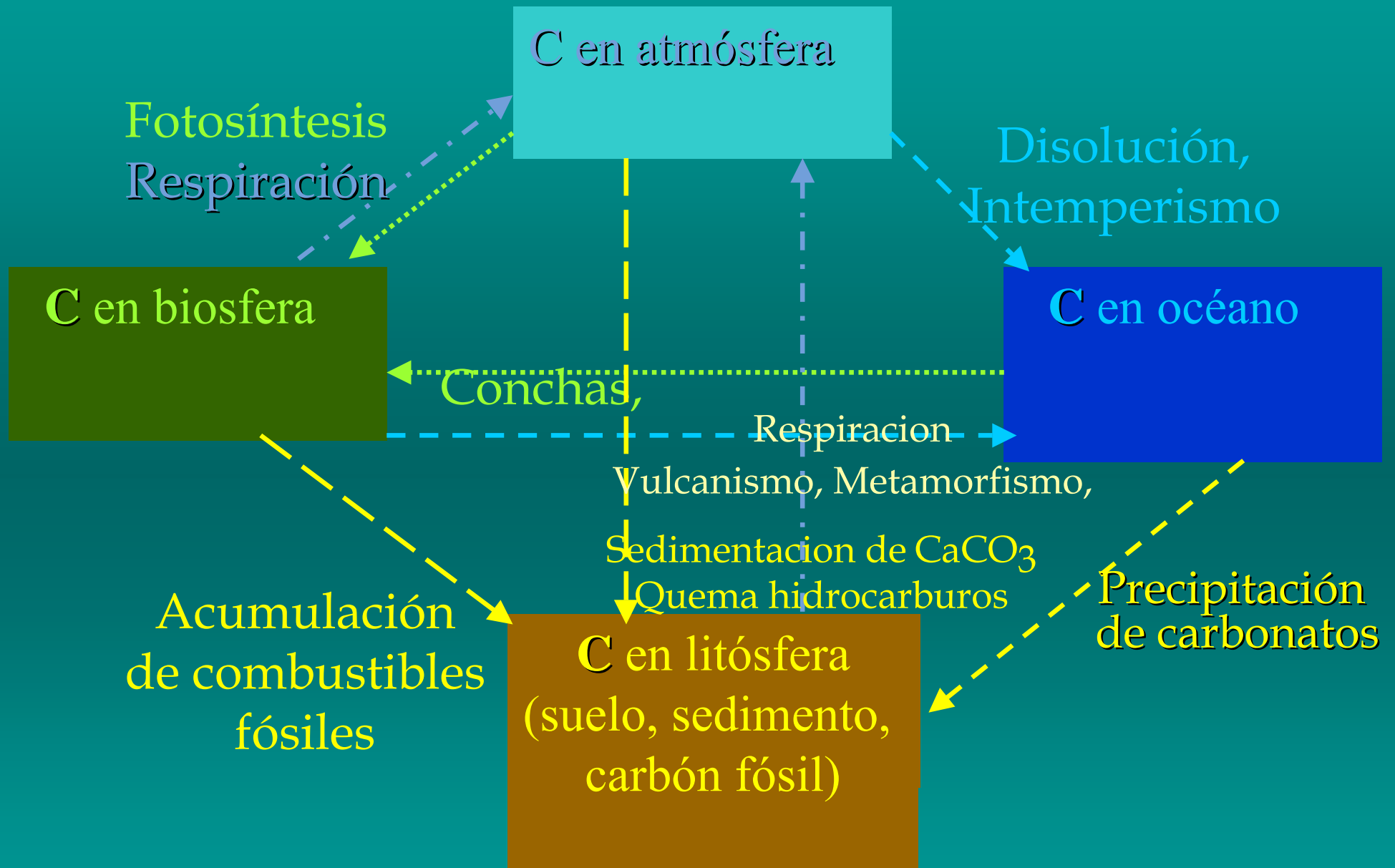
Ciclo del Carbono

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)

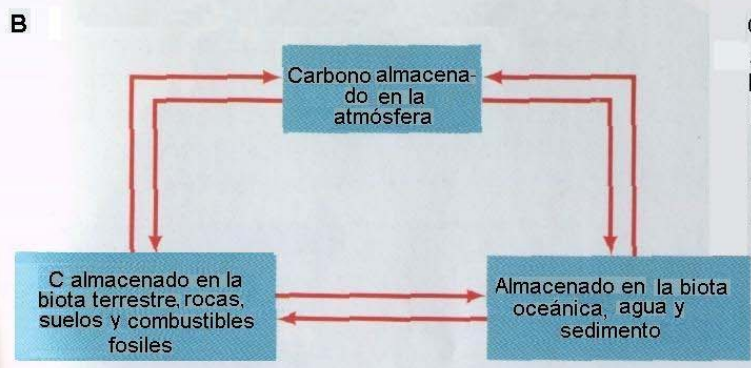
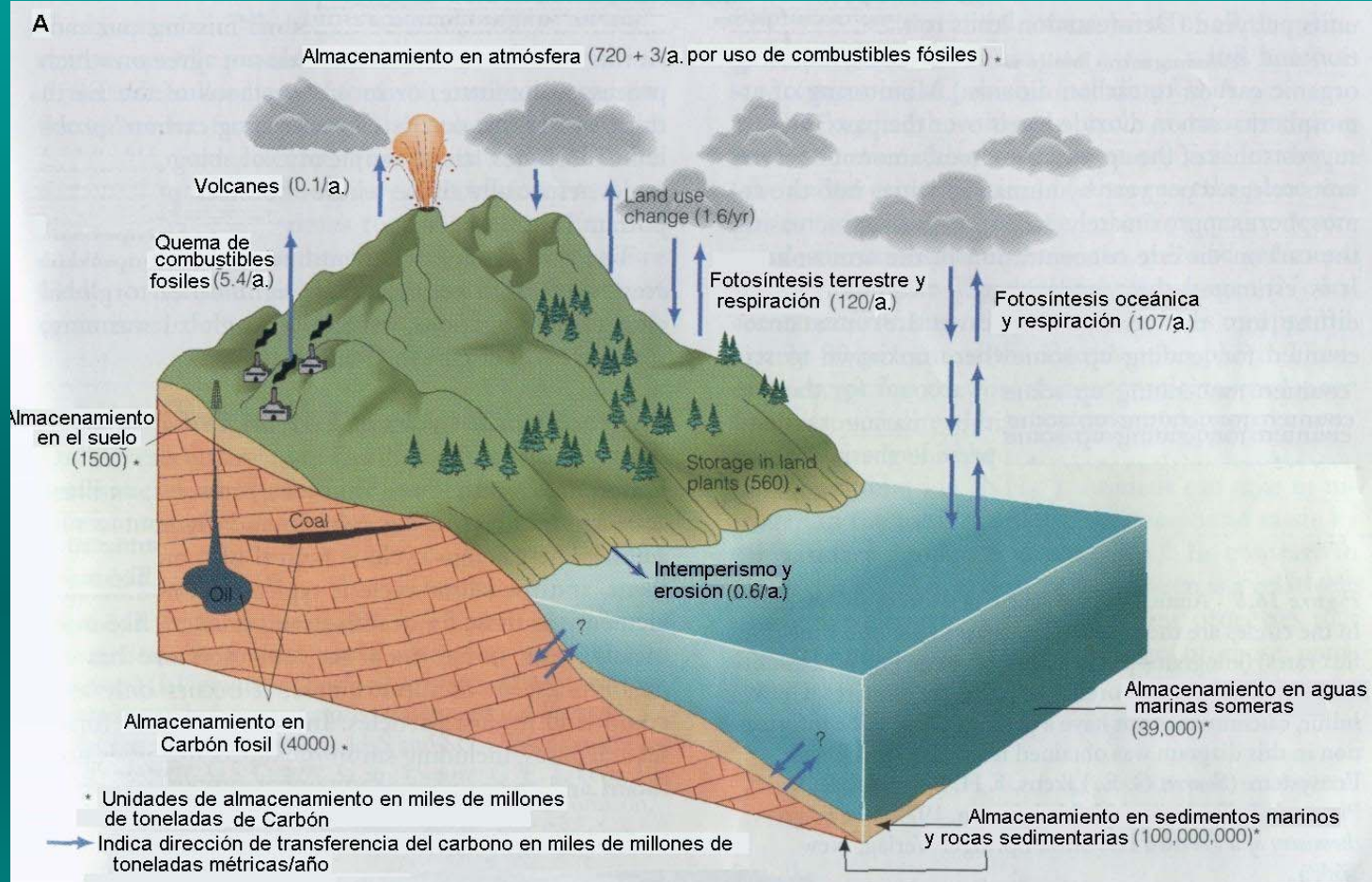
Ciclo del Carbono (C)



Procesos Físicos
Procesos Biológicos
Procesos Geoquímicos



Ciclo del Carbono (C)



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.]

La cantidad de BIÓXIDO DE CARBONO (CO_2) en la atmósfera varía:

a. por la actividad biológica que atrapa CO_2 en materia orgánica



b. por la tasa de erosión en el continente, al erosionarse las rocas se atrapa CO_2 de la atmósfera y se transporta al mar.

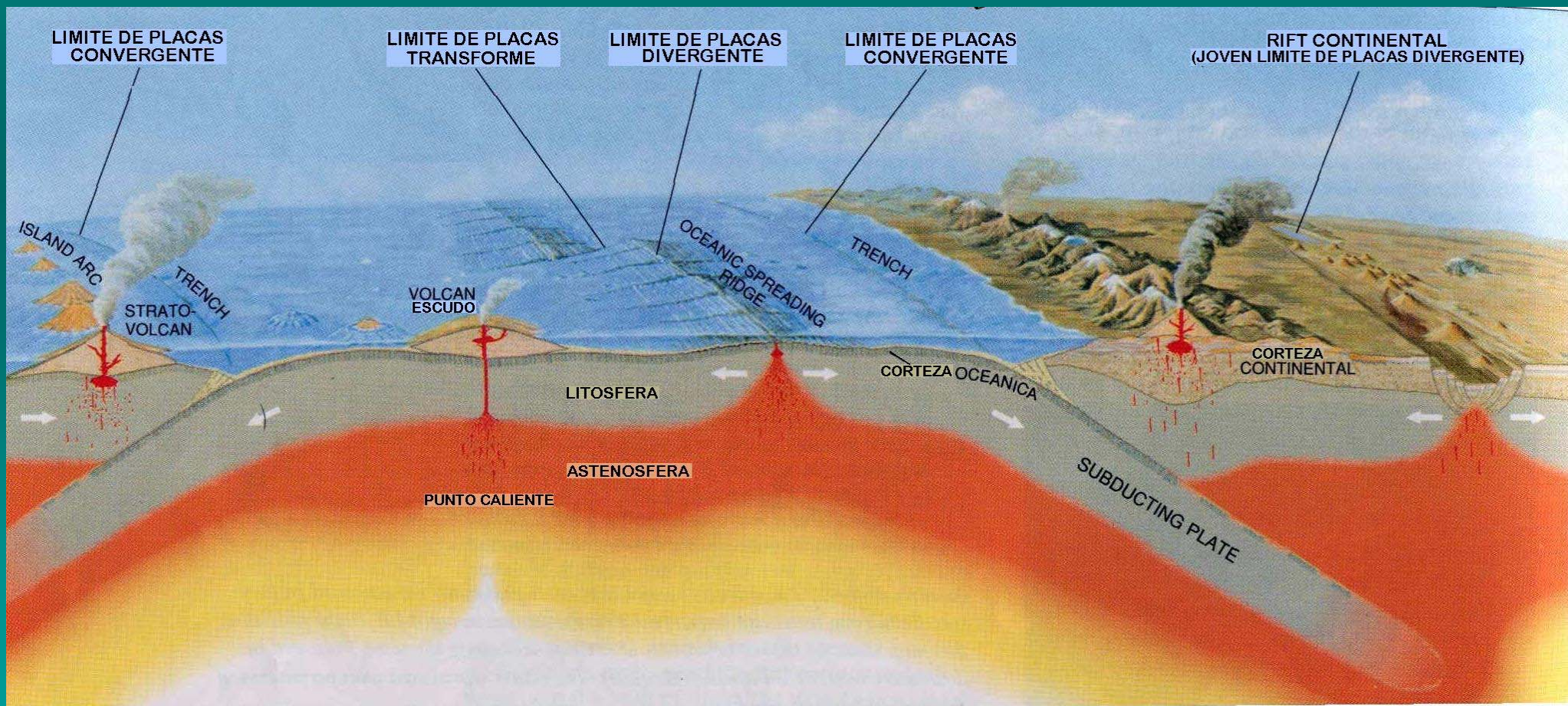
c. por la tasa de sedimentación de carbonatos en el mar: al precipitarse el CaCO_3 parte del C queda atrapado en la roca y parte se libera como CO_2 a la atmósfera.



d. por la actividad volcánica. Relacionada con la tectónica, a mayor intensidad de actividad tectónica y vulcanismo, mayor CO_2 liberado a la atmósfera



¿Dónde están los volcanes que regresan el CO₂ a la atmósfera?



2. Donde se destruye la corteza, parte de la cual se funde

3. En los puntos calientes

1. En donde nace nueva corteza y se separan las placas

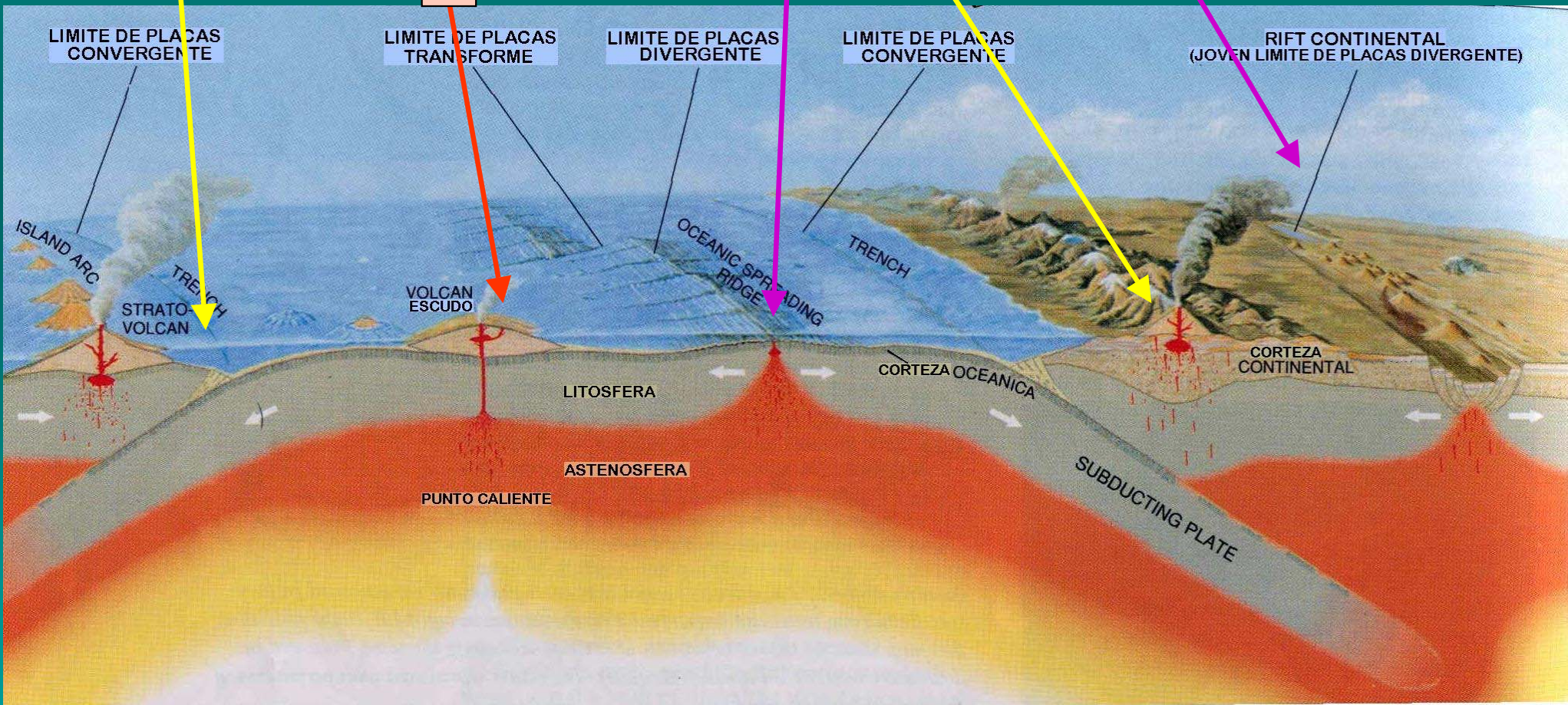
2.1

2.2

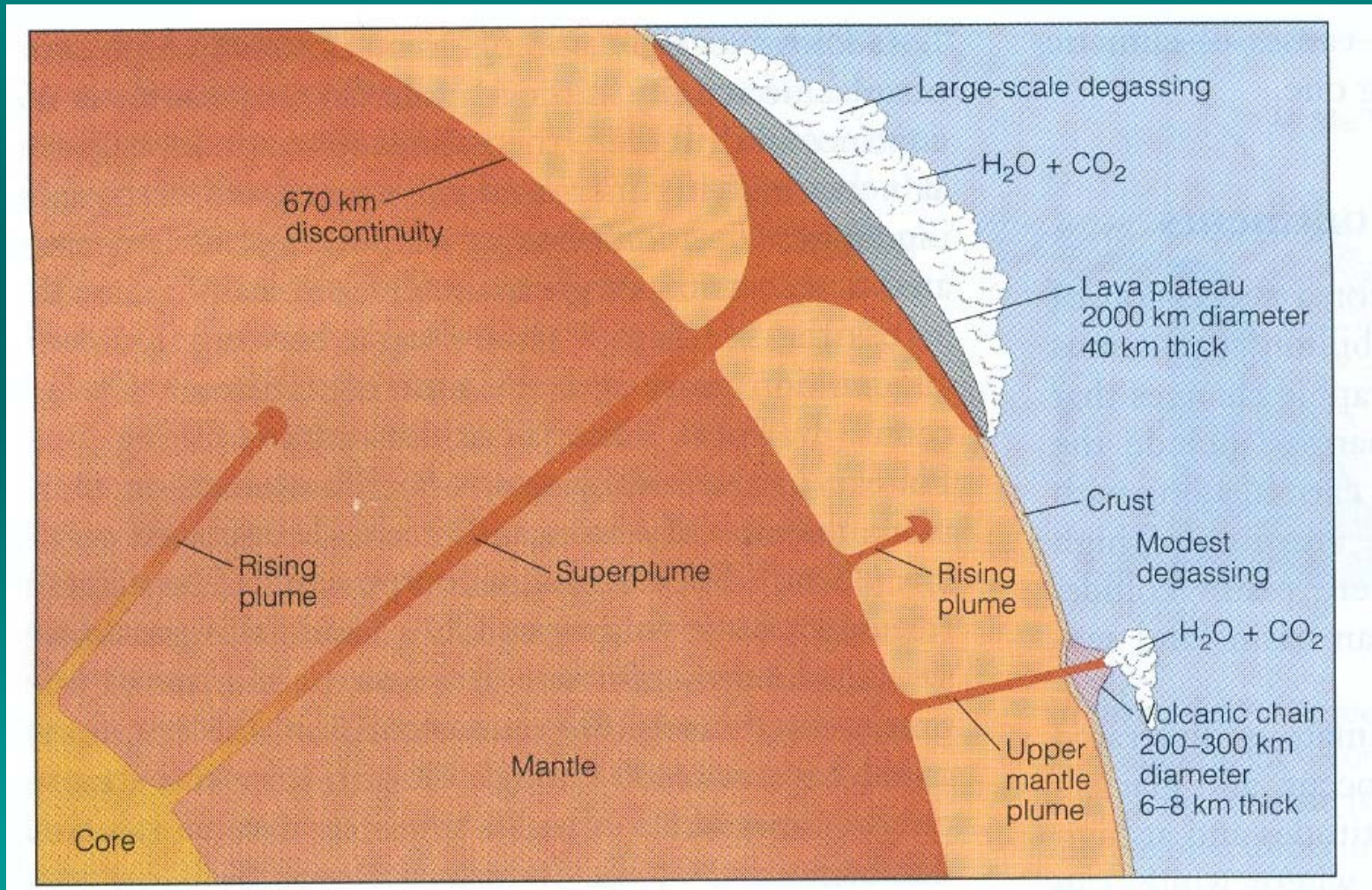
1b

1a

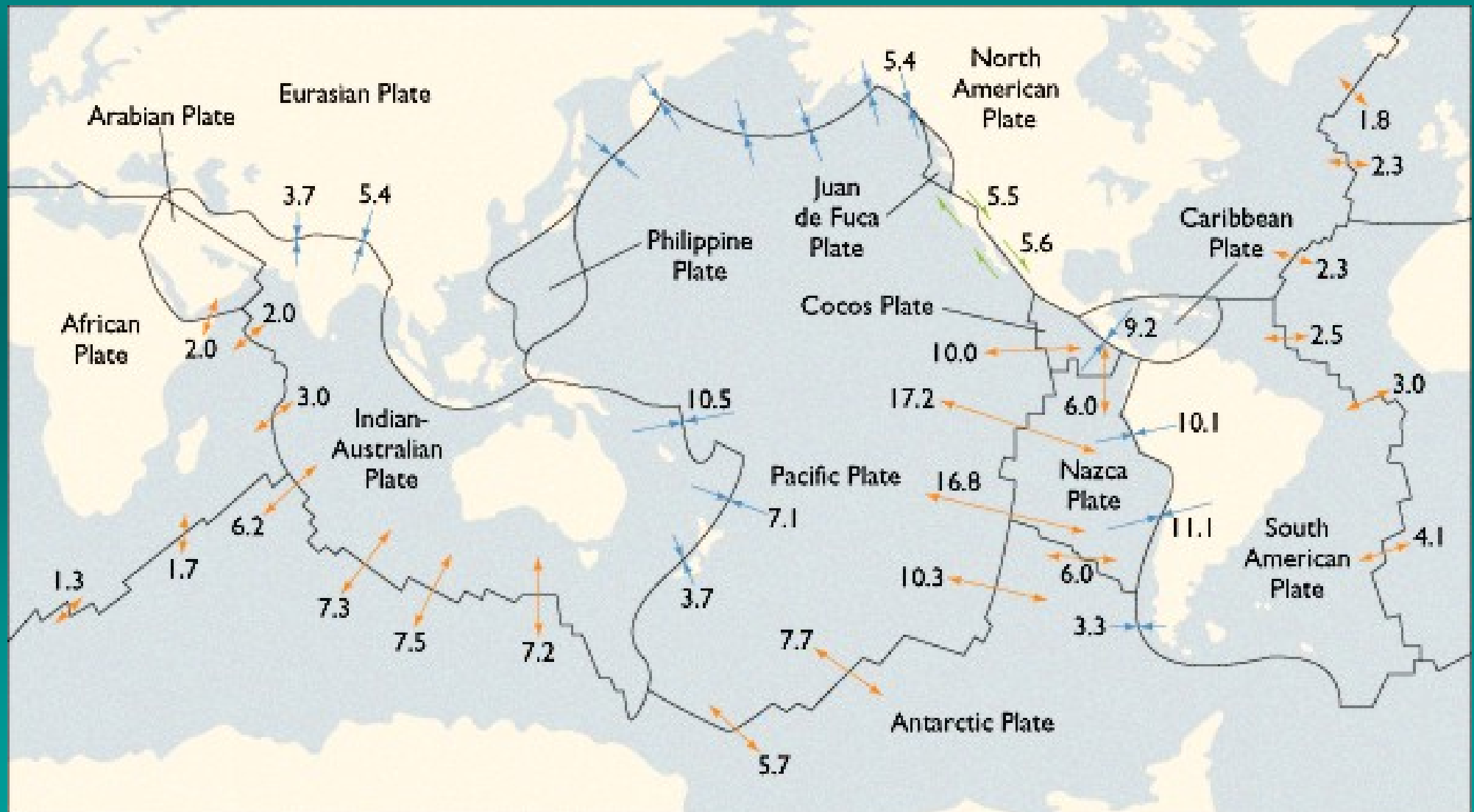
3

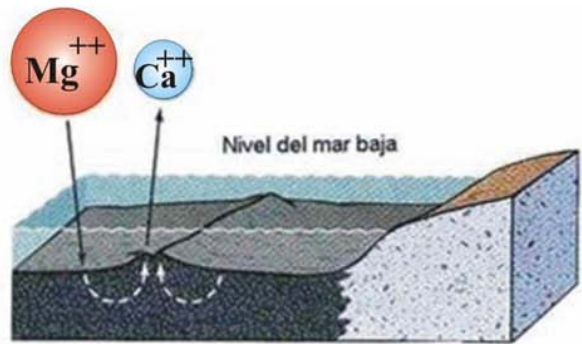


Ejemplo de intensa actividad tectónica: mayor actividad de dorsales oceánicas y formación de megaplumas.

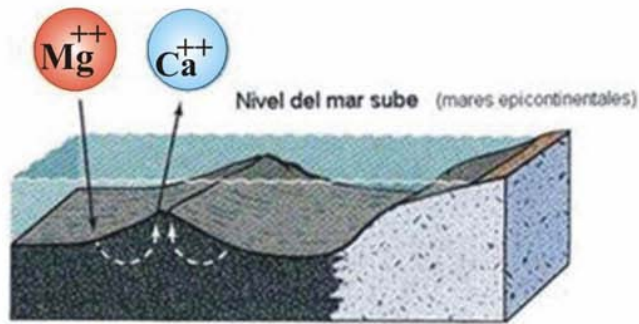


⇒ Cambios en la velocidad de expansión del fondo oceánico (Tectónica de Placas) inciden en $> CO_2$ ó $< CO_2$ liberado a la atmósfera.

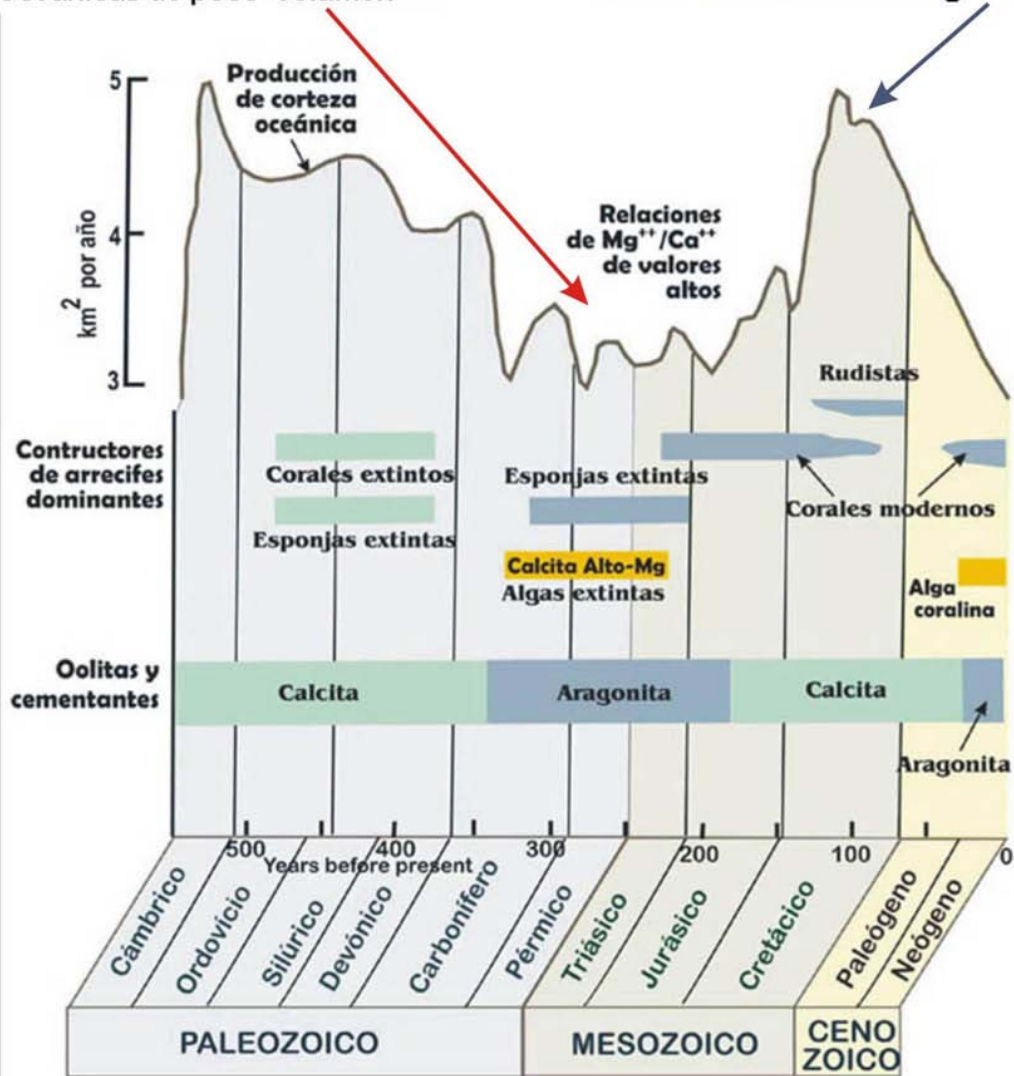




Dorsales Oceánicas de poco volúmen



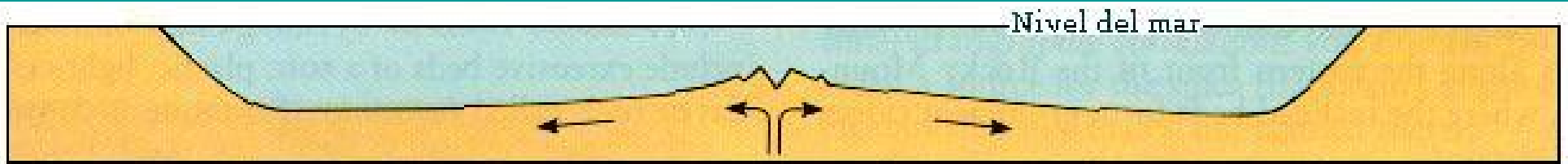
Dorsales Oceánicas de gran volúmen



El ritmo de crecimiento de los fondos oceánicos

Lento: Mg > Ca

Rápido: Mg ≈ Ca



Crecimiento ó expansión (spreading) lenta

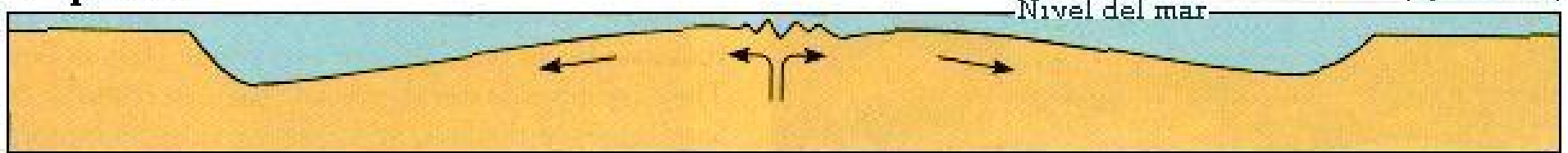


Dorsales Oceánicas de poco volúmen

Lento: $Mg > Ca$

mares epicontinentales
ó epeiricos

mares epicontinentales
(epeiricos)



Crecimiento ó expansión (spreading) rápido

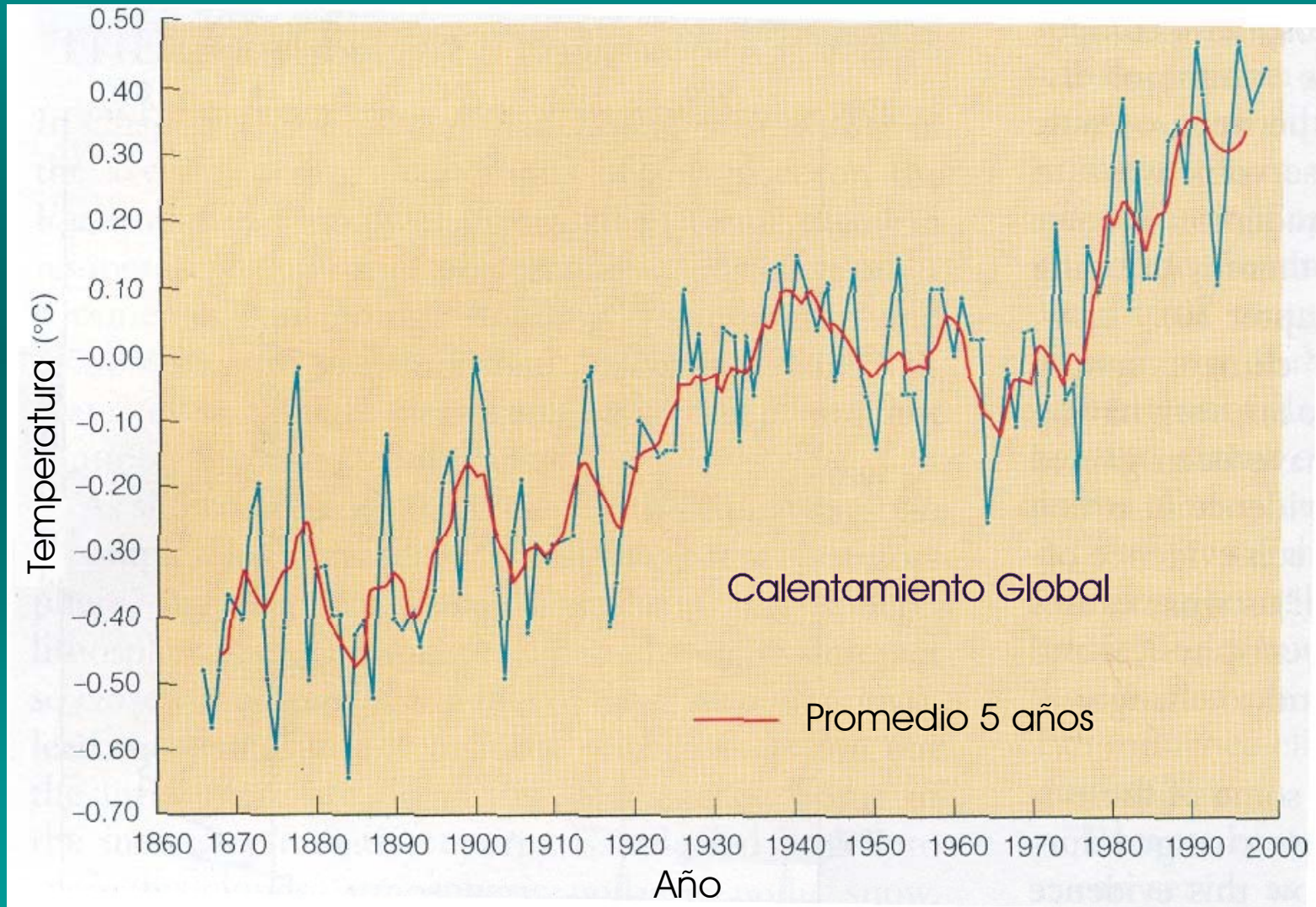


Los extensos mares someros favorecen
la precipitación de carbonatos
(retroalimentación positiva para climas cálidos)

Rápido: $Mg \approx Ca$

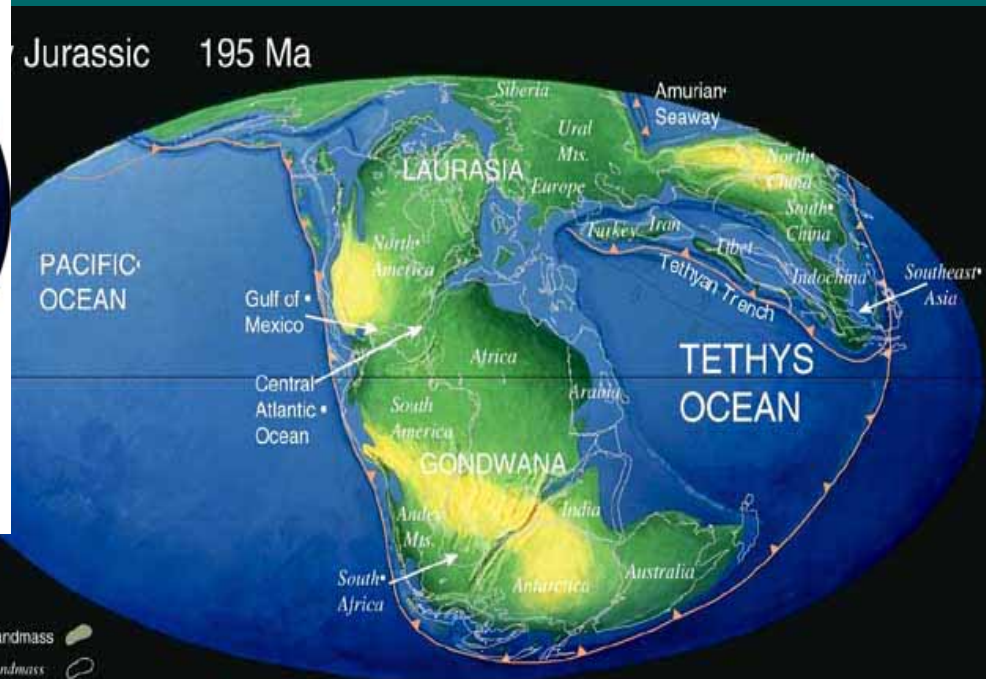
Última causa de variación del CO_2 en la atmósfera es:

e. Por actividad humana = calentamiento global

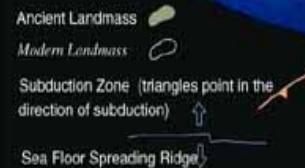


2. Variación en el arreglo y posición de continentes y montañas (y altitud de montañas)

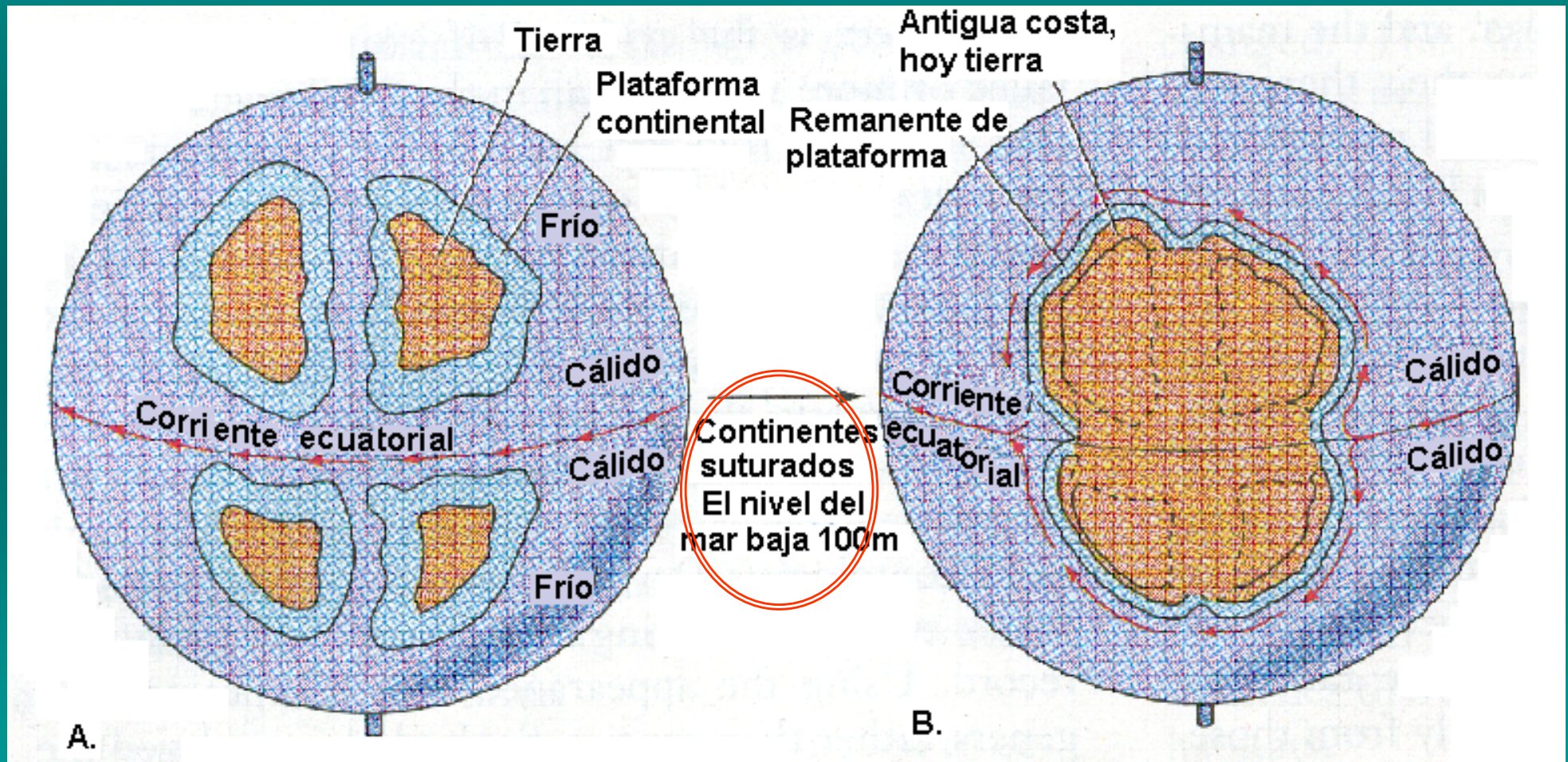
Modifican las corrientes oceánicas y patrones atmosféricos, es causa de efecto de continentalidad, efectos de sombra de lluvia y de la existencia o no de casquetes polares.



Causa de cambio climático



Efectos del tamaño y posición de los continentes en el nivel y profundidad de los mares



¿POR QUÉ CAMBIA EL CLIMA?

3. Variación en la actividad solar

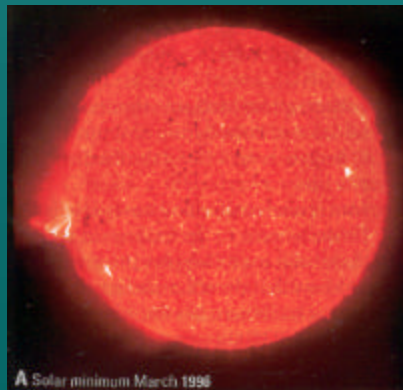
4. Por variaciones en la distancia y orientación de la Tierra con respecto al sol: Ciclos de Milankovitch

3. Variación en la actividad solar

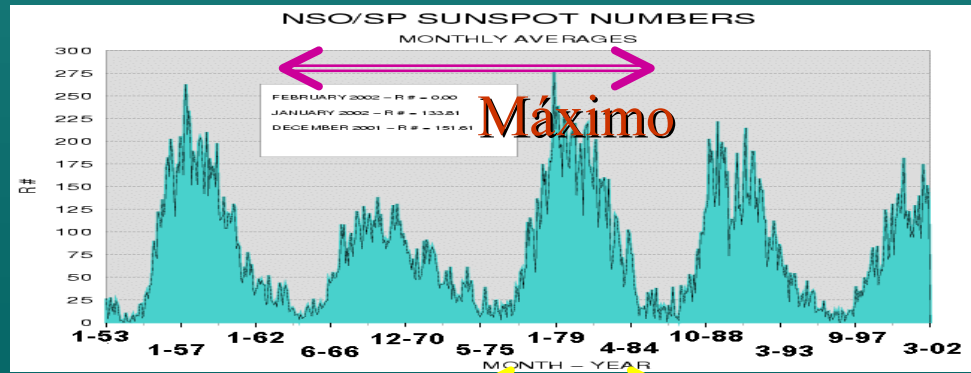
La energía que emite el Sol no es constante, varía en función del fenómeno cíclico de la intensidad de las manchas solares.

Cada **11 años** las manchas solares invierten su polaridad magnética, variando la intensidad de estas manchas de un mínimo-máximo-mínimo.

Dos de estos ciclos conforman un **Ciclo Hale** de 22 años que inicia y termina con las manchas con la misma polaridad magnética

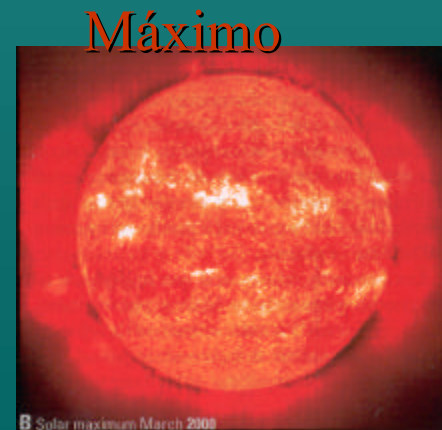


Mínimo



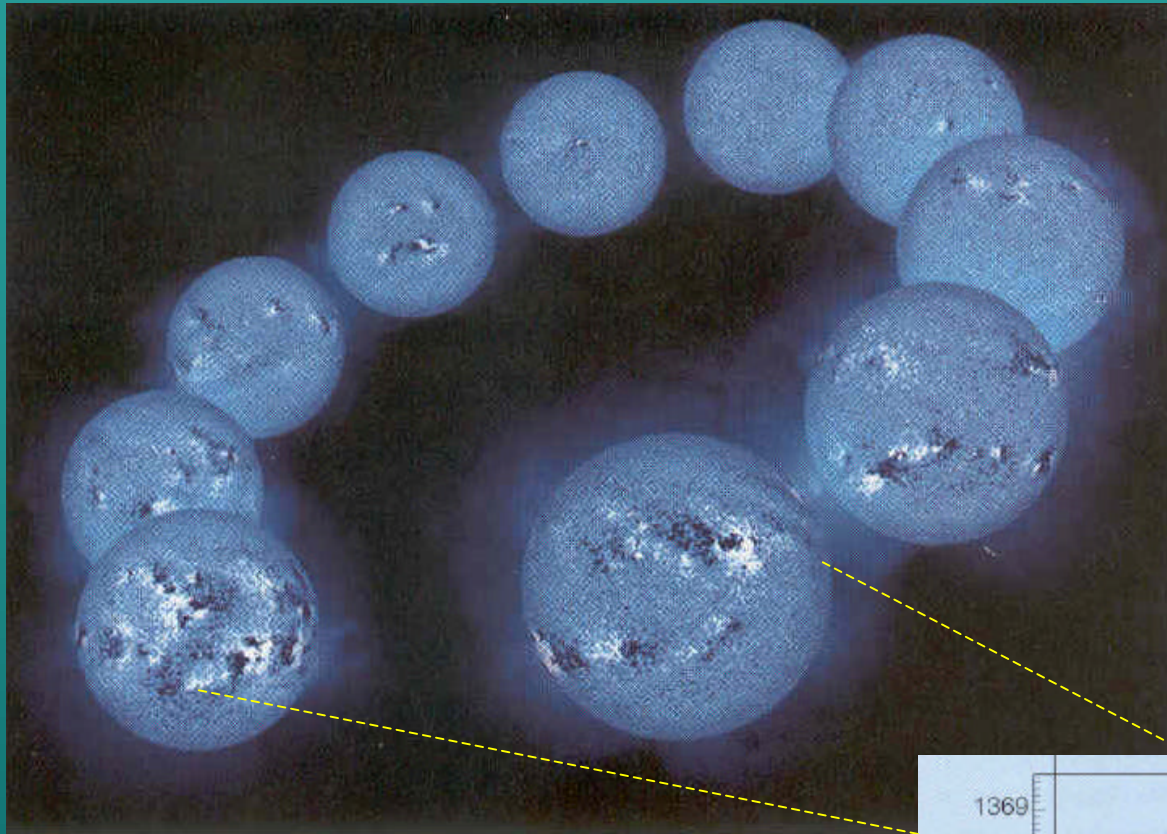
Mínimo

11 años

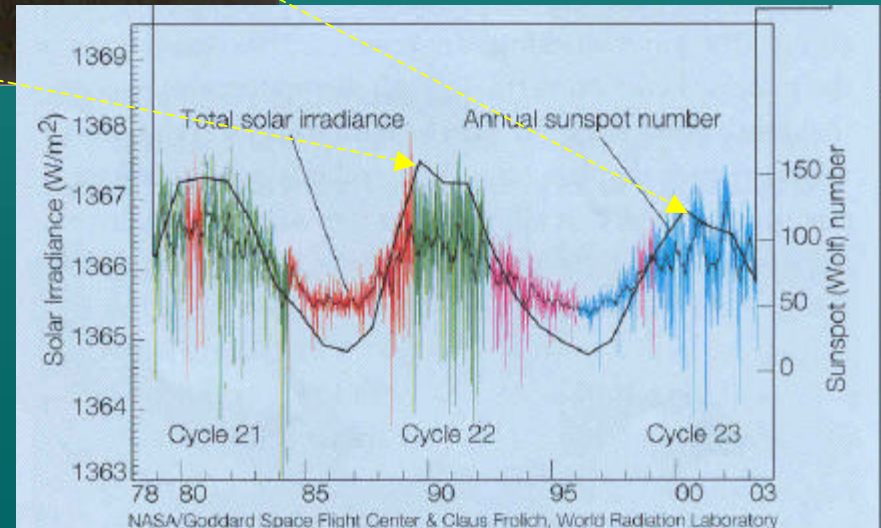


Máximo

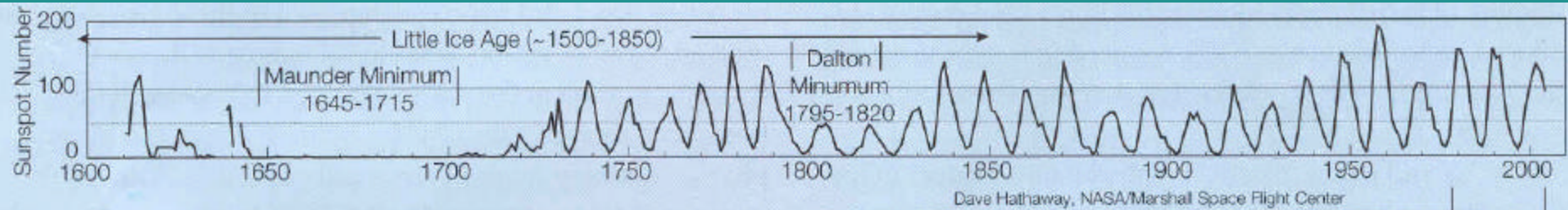
Causa de cambio climático



A mayor número de manchas solares, mayor irradiación del Sol



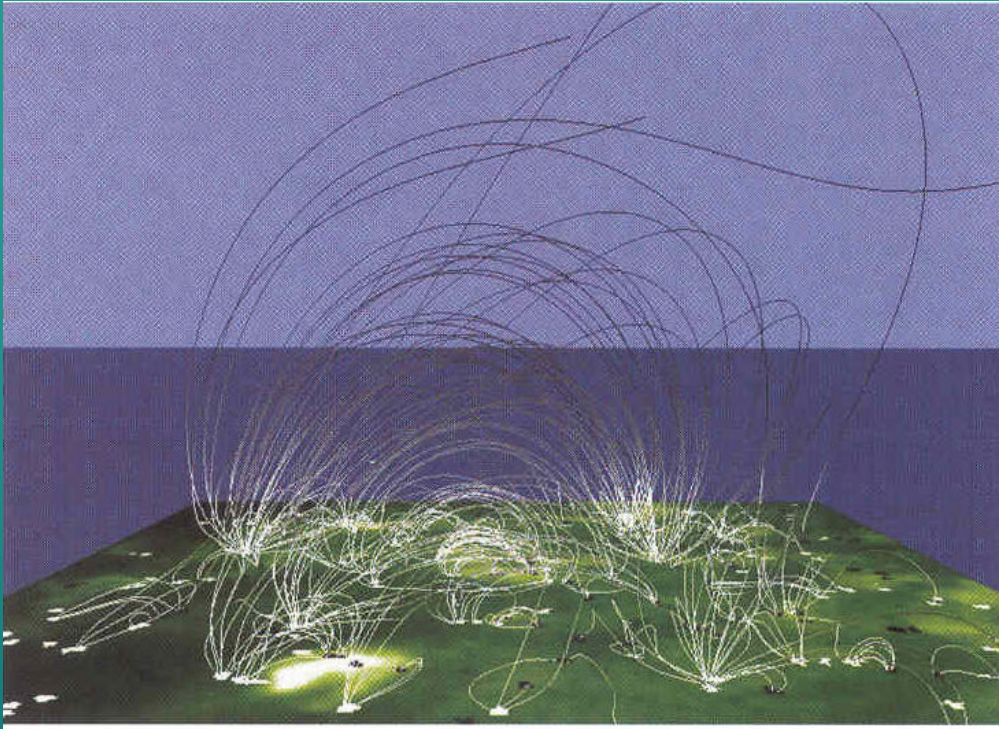
La observación de las manchas se extiende hasta 400 años atrás, tiempo en el que se han registrados series de ciclos con mínimos de manchas solares como el Maunder (de poco más de 3 ciclos Hale: 70 años) y el Dalton (de poco más de 1 cH: 25 años)



Ambas series dentro de la conocida Pequeña Edad de Hielo (1500-1850)



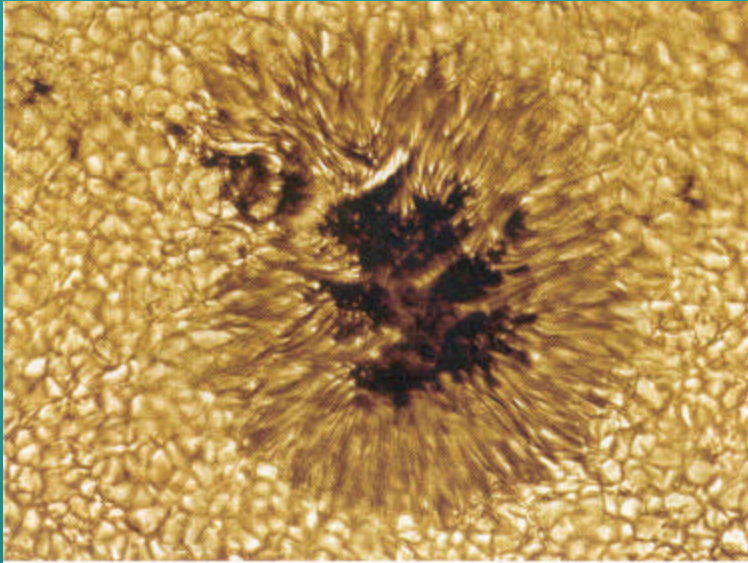
Pieter Bruegel the Elder, Kunsthistorisches Museum Wien, Vienna



Funcionamiento de las manchas solares

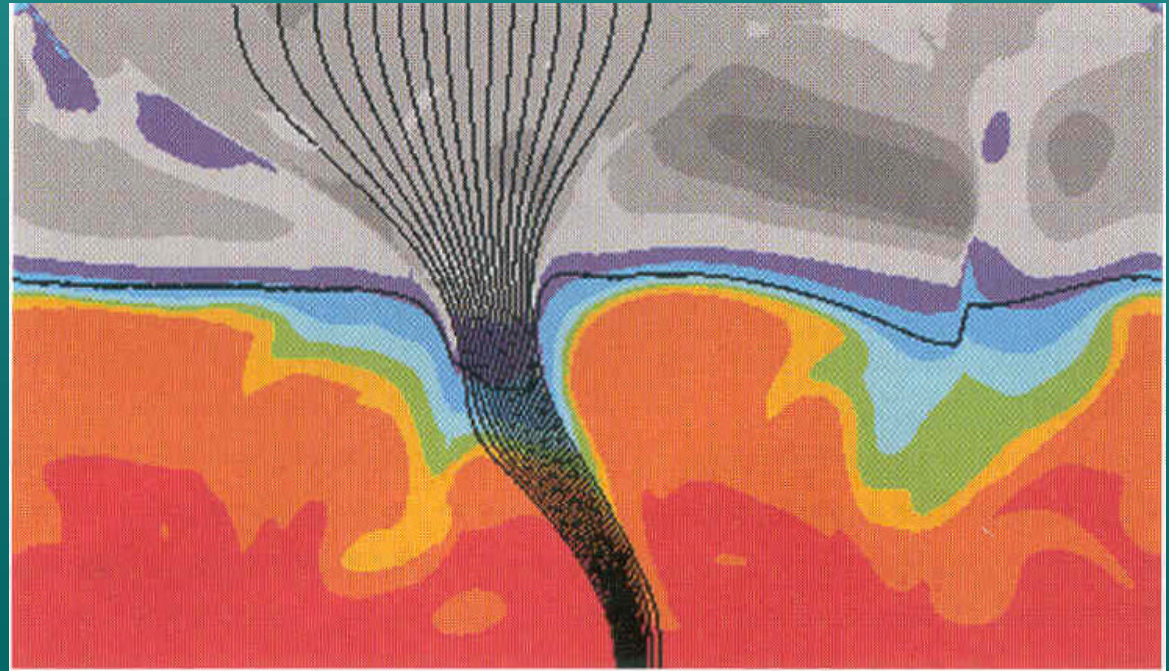
Unlike Earth with its simple pair of north and south magnetic poles, the Sun is carpeted with countless small north and south magnetic poles joined by field lines that loop through the solar atmosphere and corona and back to the surface. They are born, fragment, drift, and disappear in a day or two, arising from mechanisms that are poorly understood at present.

Causa de cambio climático



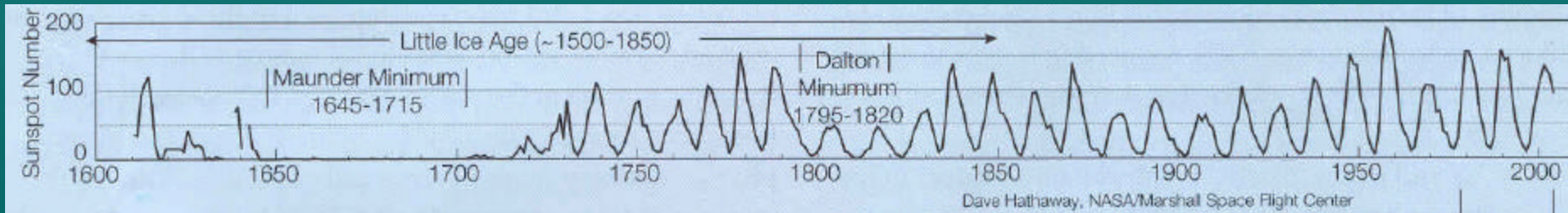
Thomas Rimmele, NSO/AURA/NSF

Las manchas solares se forman por líneas magnéticas que emergen a la superficie desde una zona convectiva interior. Tienen una °T menor que su alrededor.



La paradoja de la variación de las manchas solares es que el Sol es más brillante y emite más radiación cuando hay más manchas.

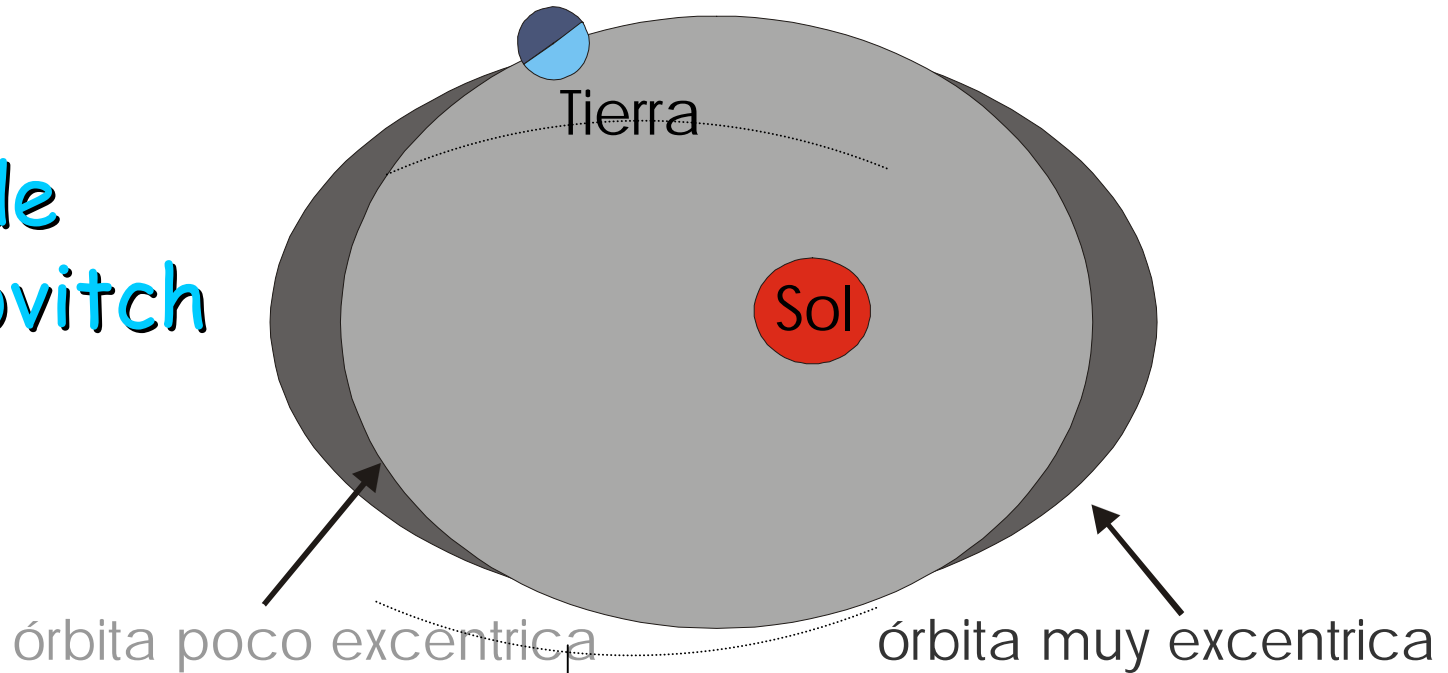
Esta activa radiación al llegar a la Tierra rompe las moléculas de O_2 en átomos libres favoreciendo la formación de Ozono (O_3) cuya implicación es su aumento o disminución en los periodos de larga duración de máximos y mínimos solares, con lo que se explica la época de inviernos severos y veranos cortos de la Pequeña Edad de Hielo, particularmente durante el mínimo Maunder .



4. Variaciones en la distancia y orientación de la Tierra con respecto al Sol

Variación en la excentricidad de la órbita terrestre

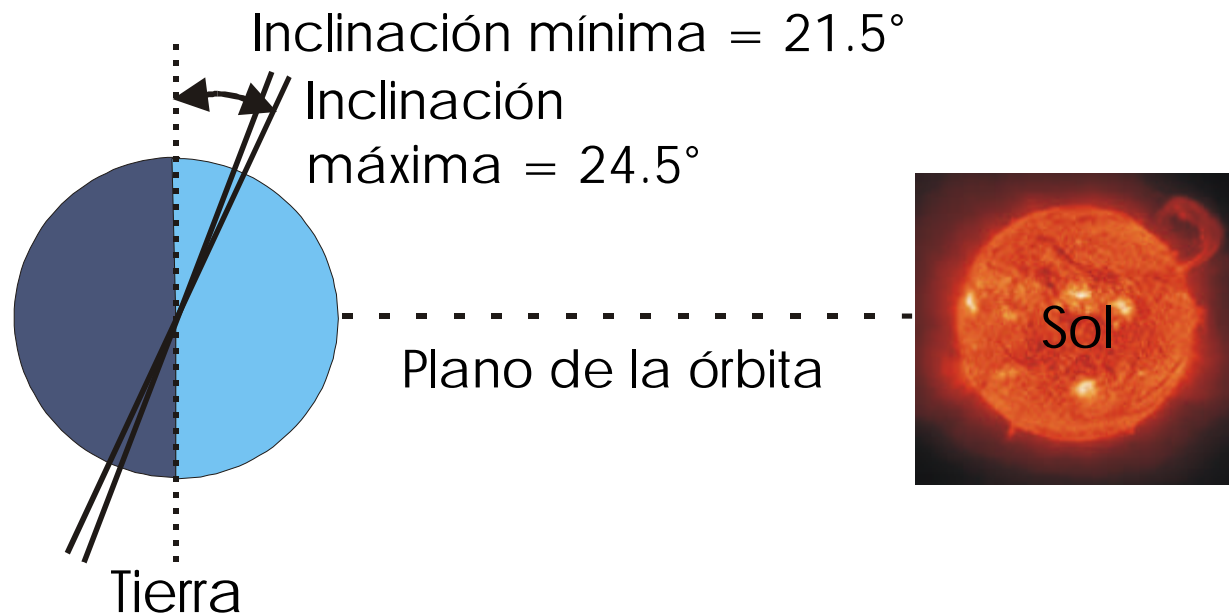
Ciclos de
Milankovitch



El ciclo se cumple cada 100,000 años

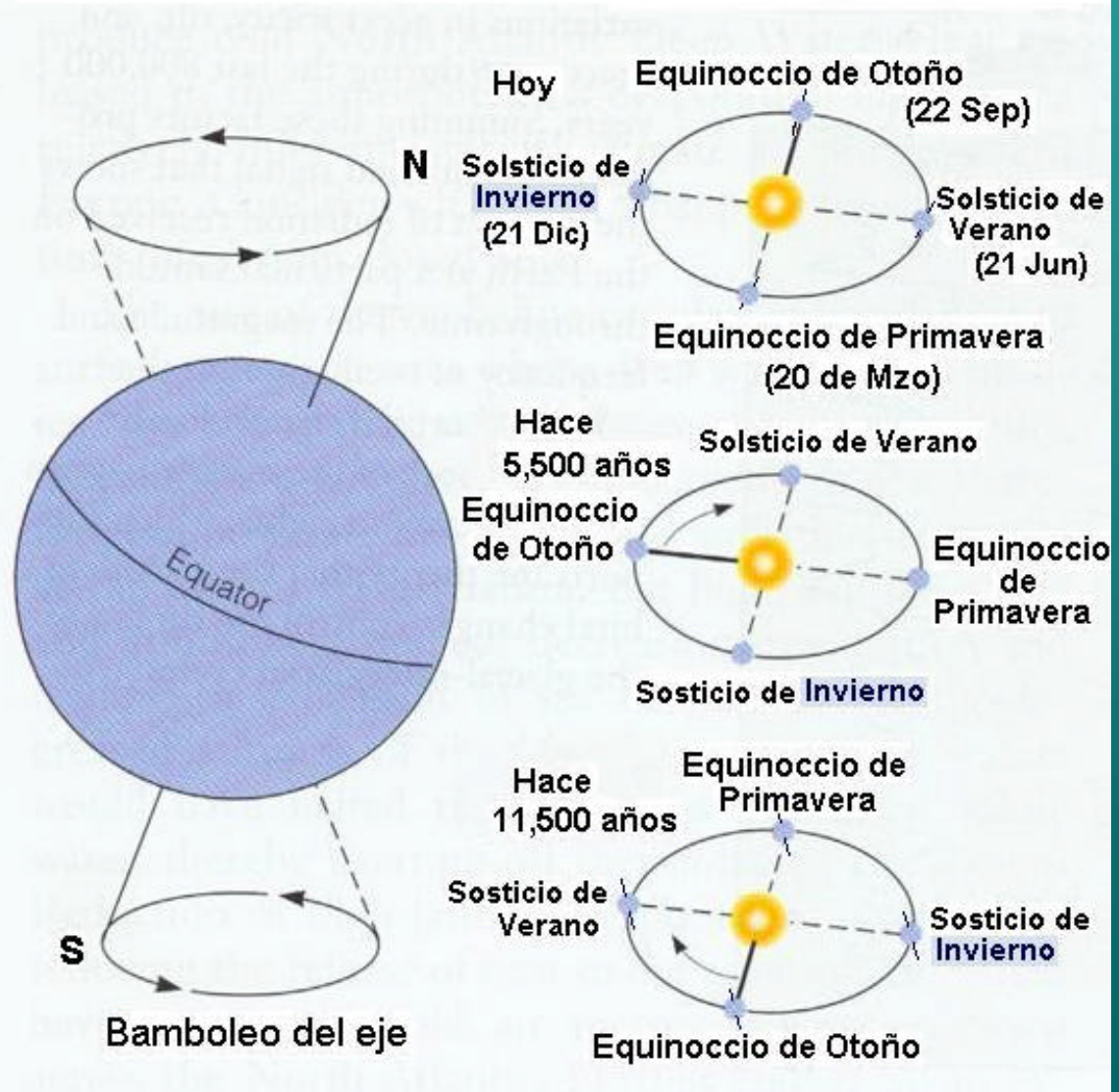
Ciclos de Milankovitch

Variación en la inclinación del eje de la Tierra



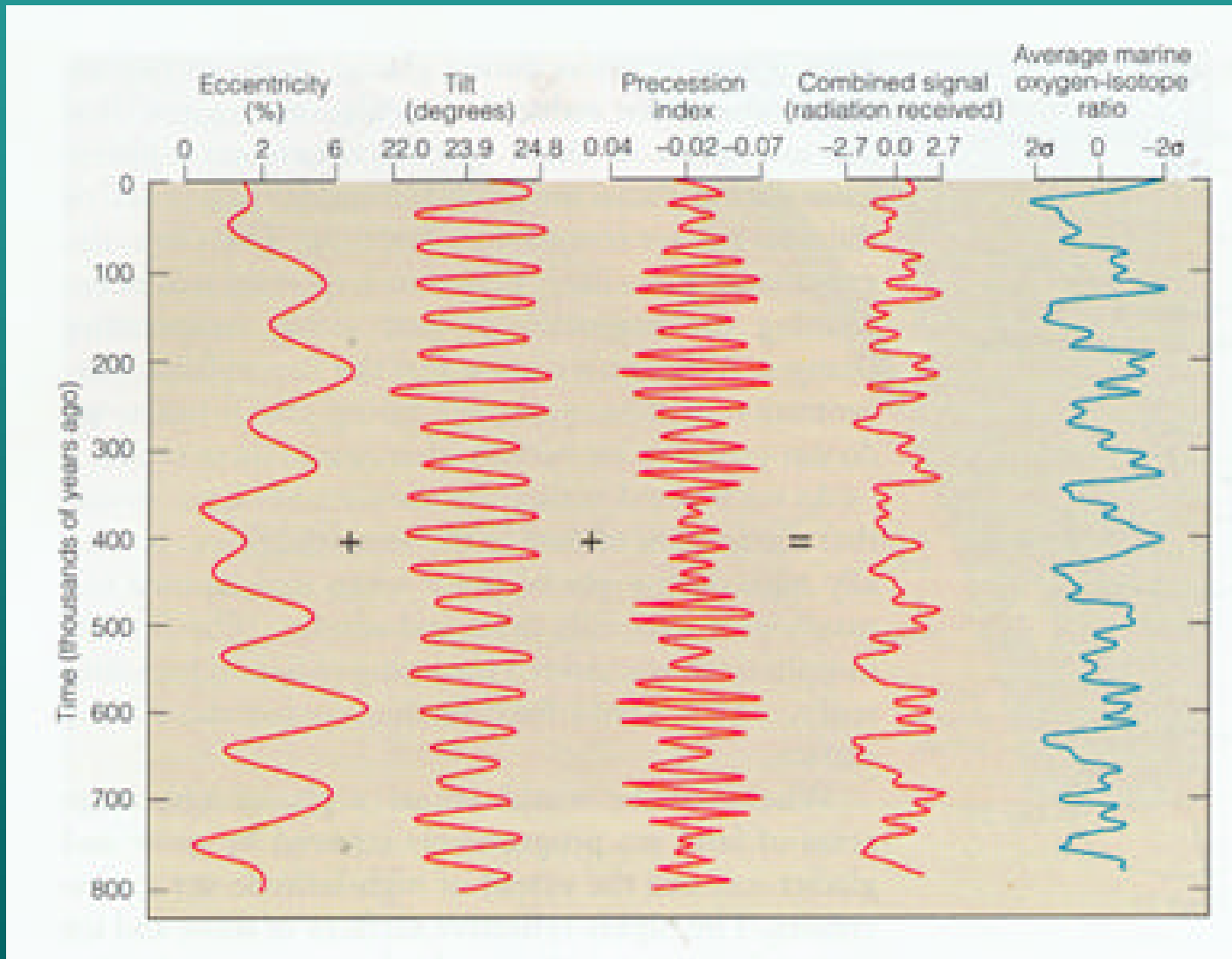
El ciclo se cumple cada 40,000 años

Precesión de los Equinoccios



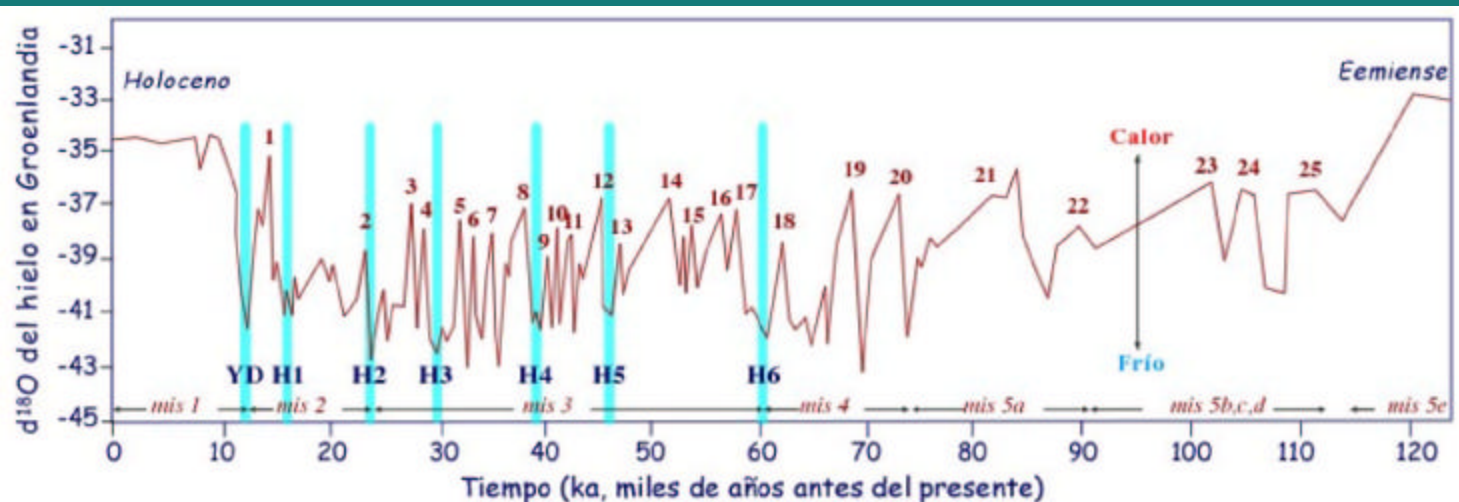
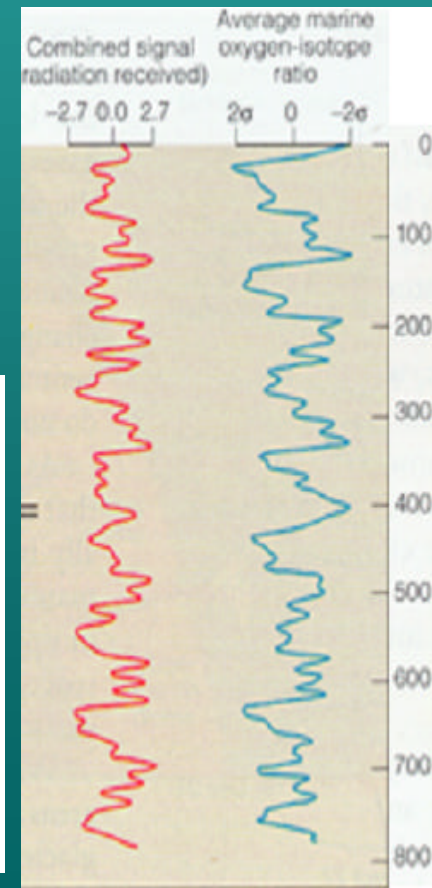
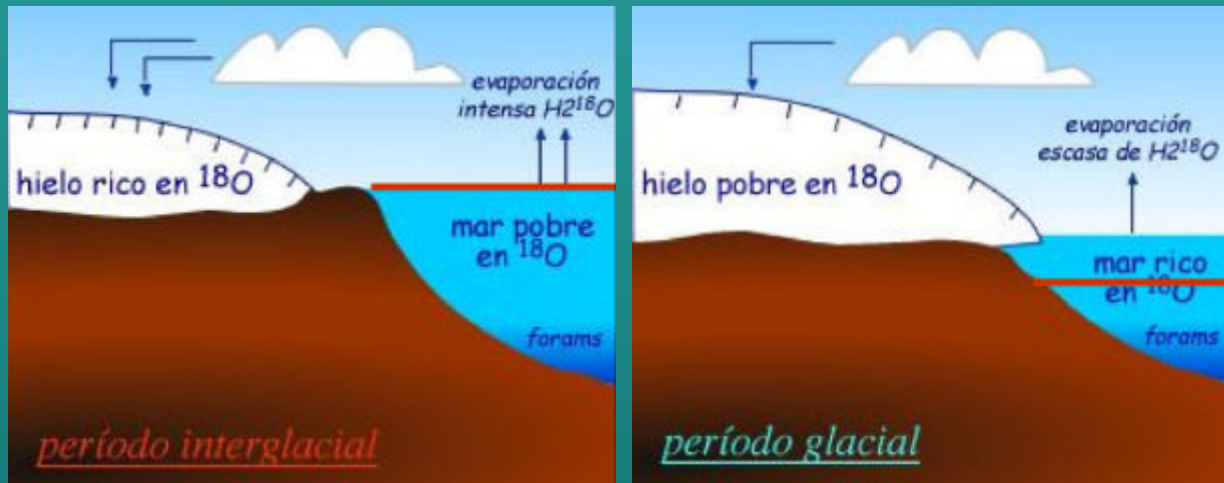
Ciclos de Milankovitch

Ciclos de Milankovitch- Glaciaciones

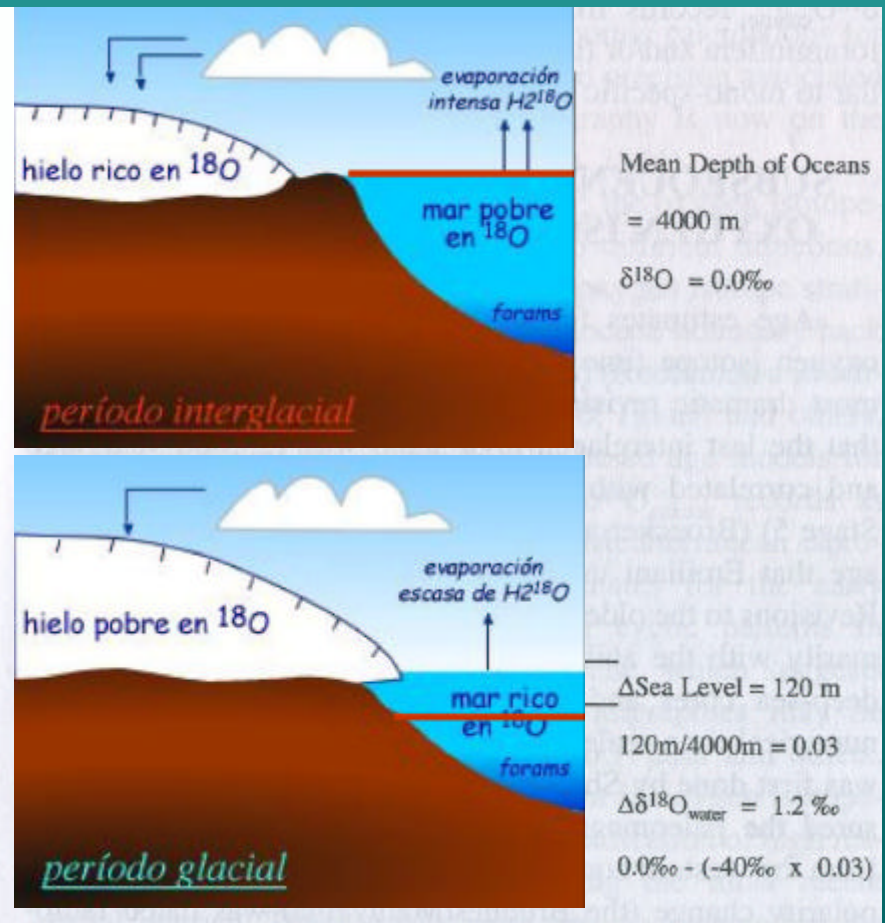
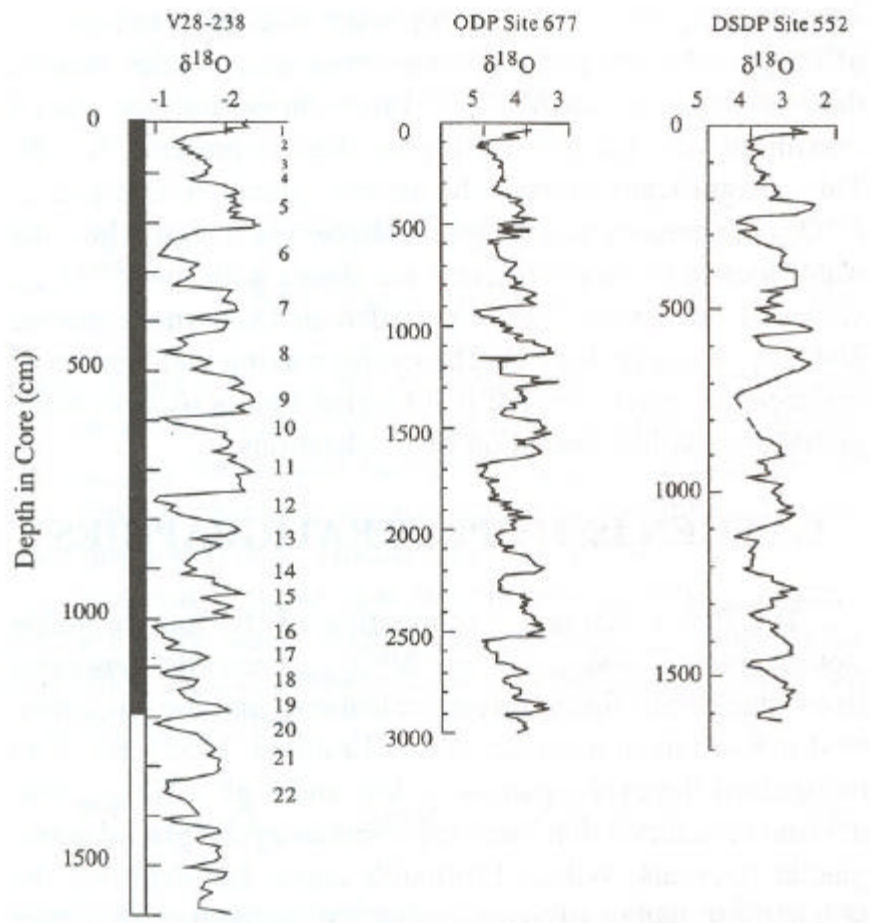


Isotopía de O en comparación con ciclos de Milankovitch- Glaciaciones

Elemento	Isótopo	Abundancia (%)
Oxígeno	^{16}O	99.759
	^{17}O	0.037
	^{18}O	0.204



Isotopía de O en comparación con ciclos de Milankovitch- Glaciaciones



Ciclos de Milankovitch- Glaciaciones

Pleistocene 18,000 years ago

