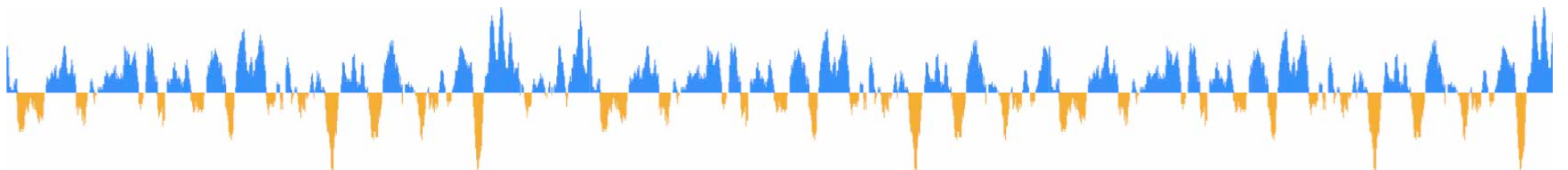


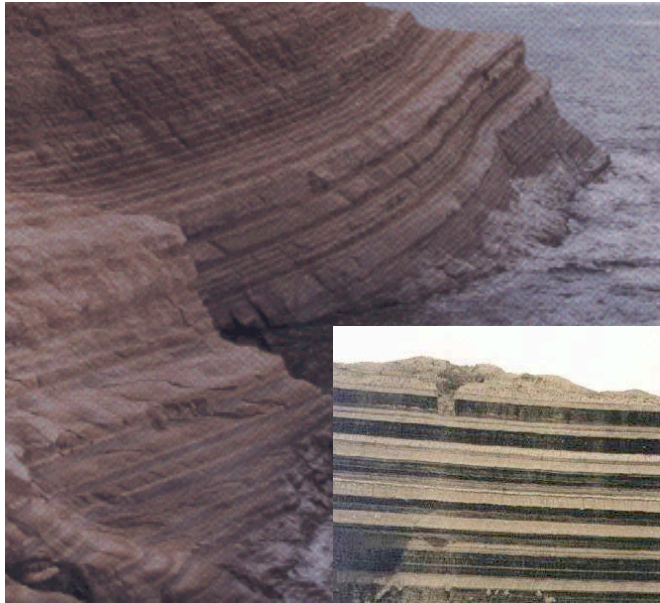
# Variabilidad Climática y Paleoclima

Catalina González

Profesora del Departamento de Ciencias Biológicas  
Universidad de los Andes



En el registro sedimentario encontramos cosas como estas comunmente....



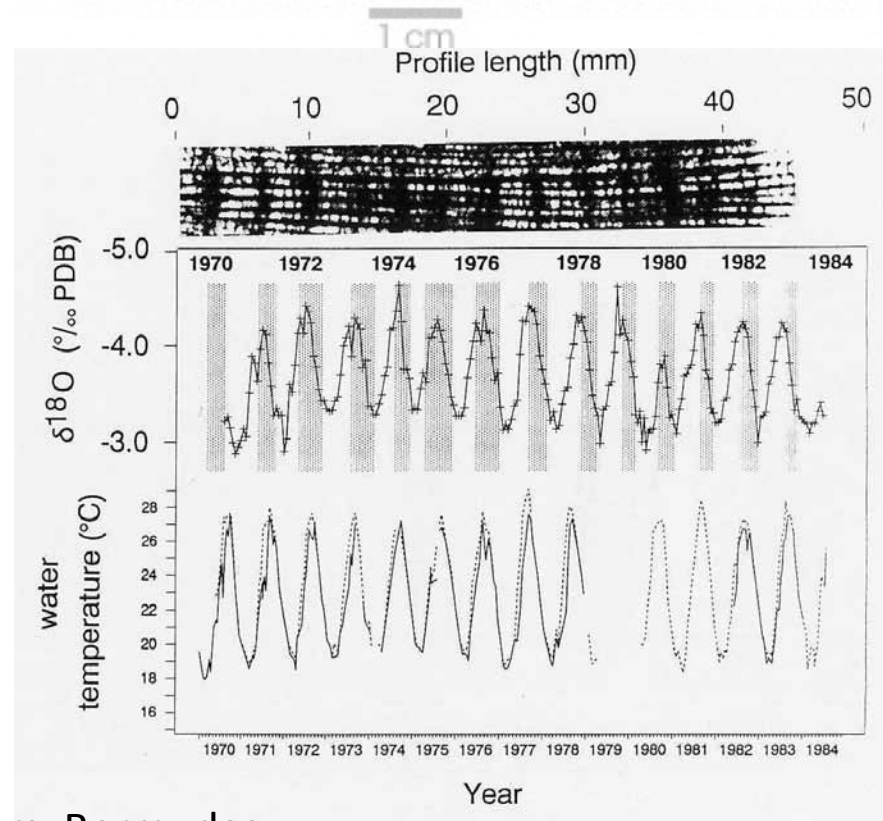
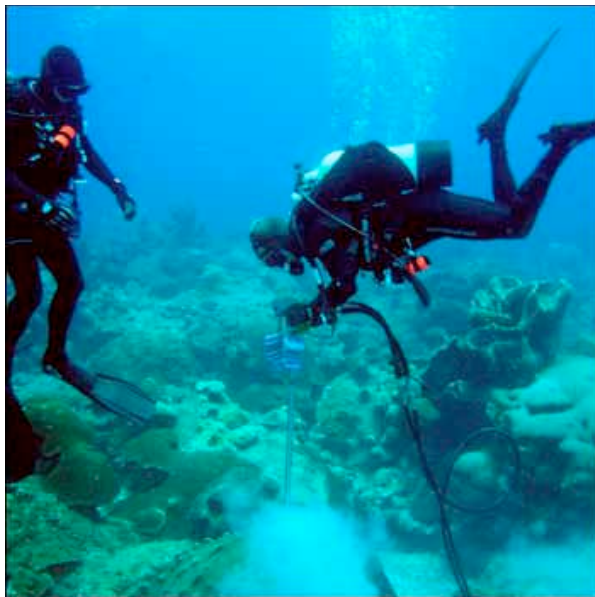
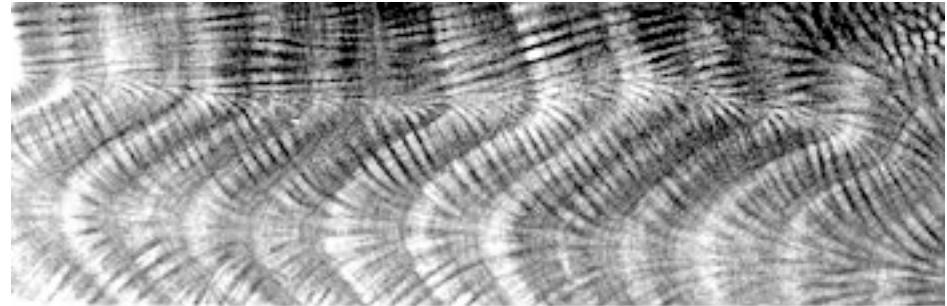
En Sicilia, en Punta de Maiata se puede ver un acantilado blanco conformado por capas grises y beigeas.



En la Cuenca de Megalopolis (Greece), hay capas de lignito (carbón mineral-sapropels) intercaladas.

En el registro sedimentario encontramos cosas como estas comunmente....

Bandas de crecimiento regulares, en corales modernos

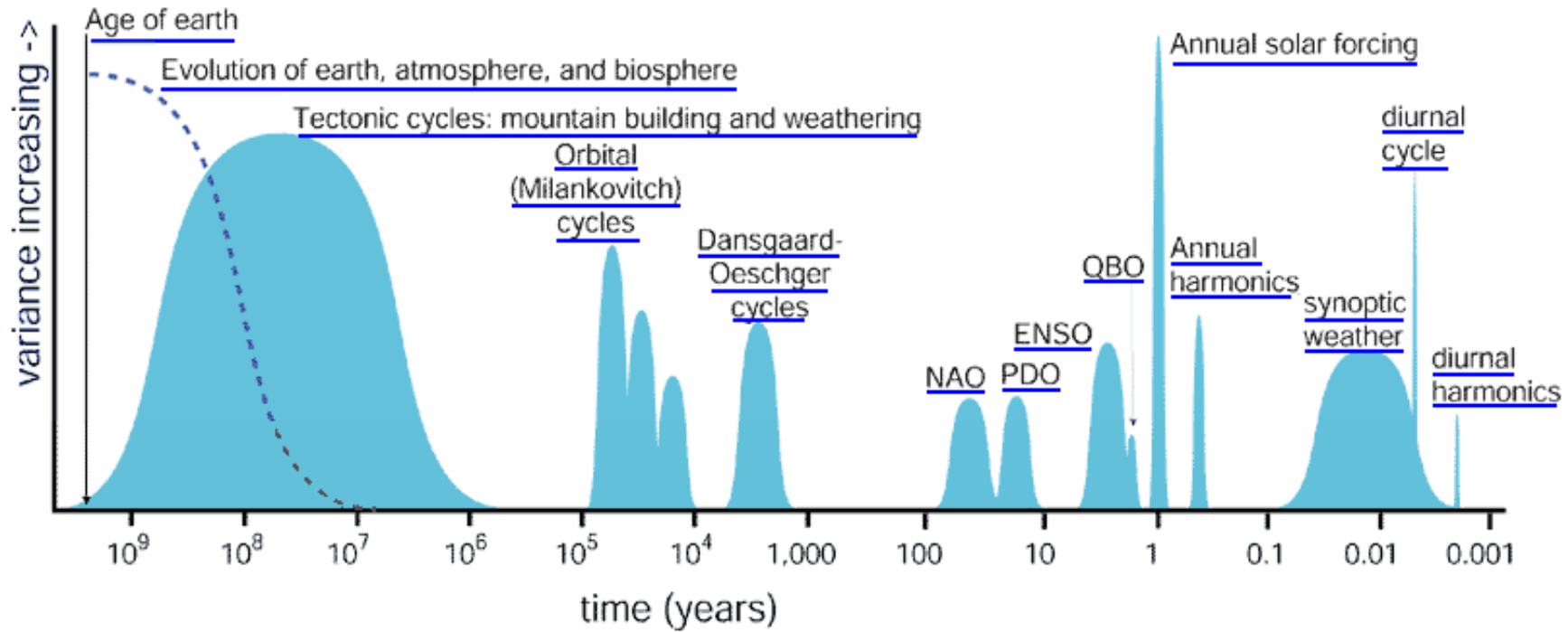


Northeast Breakers, Bermudas

# Espectro de variabilidad climática

1 día	ciclos diurnos
1 mes (29,5 días)	ciclos lunares, mareas
meses-1 año	ciclos estacionales,
10 - 10 <sup>2</sup> y	Manchas solares (Gleissberg cycle, ...) Sistema Océano-Atmósfera (e.g.El Niño, NAO) Actividad volcánica
7 ky, 2-3ky	Ciclos de Bond, ciclos Dansgaard-Oeschger inestabilidad del sistema continental-hielo
23 ky, 19 ky	Precesión del eje de rotación inclinado
41 ky	Grado de inclinación del eje de rotación
100 ky	Dinámica de glaciaciones
10 <sup>5</sup> y - 10 <sup>6</sup> y	Eccentricidad de la órbita terrestre
10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup> y	Factores paleogeográficos (deriva continental, orogénesis,), ciclo del carbono a largo plazo
10 <sup>9</sup> y	Cambios en la intensidad lumínica del sol

# Variabilidad climática



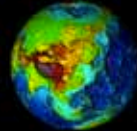
NOAA, <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo>

## Summary of Climate TimeLine

**The Climate TimeLine Information Tool** is designed as an interactive matrix to allow users to examine climatic information at varying scales through time. Beginning with the daily cycle of Earth's rotation on its axis, the Climate Timeline moves logarithmically using the powers of ten from the daily cycle on its axis ( $10^{-0.27}$  years) and annual cycle around the sun ( $10^0$  years) to 100,000 ( $10^5$ ) year timescales and beyond.

Note: Popup menus will appear when you move the mouse over each time period on the left navigational panel. Each menu offers links to (1) a **Summary** of that timescale, (2) **Climate Science** that investigates climate cycles and systems, (3) **Climate History**, exploring the climate events and human development of each scale, and (4) **Resources**, including other online sources and ideas for further inquiry.

The following table provides an overview and summary of materials within the Climate Timeline website.

<p><b>Overview</b> (You Are Here!)</p> <p>Also see <a href="#">What is Variability?</a> and <a href="#">Forecasting Future Weather and Climate</a></p>	<p><b>Climate Science</b></p> <p>Weather and climate forecasting have improved dramatically in recent years, yet accurate long-term forecasts remain elusive due to the complexity of climate systems.</p>	<p><b>Climate History</b></p> <p>Human development and history has occurred since the end of the last Ice Age, and primarily in the relatively warm Holocene period of the past 10,000 years or so. Here we explore the relationship between humans and climate.</p>	<p><b>Resources</b></p> <p>Online Resources and Inquiry Ideas for further explorations in climate processes and the link to human culture.</p>
<p><b>1 Day</b></p> 	<p><b>Daily Diurnal Cycle</b></p> <p>Weather variability occurs at a scale of minutes, hours, and days, with the Earth's rotation on it's axis being a primary force for</p>	<p><b>Today</b></p> <p>Exploring how environmental systems and human activities are impacted by daily cycles.</p>	<p><b>Today</b></p> <p>Links to resources about today's weather and more.</p>

# Modos de variabilidad climática

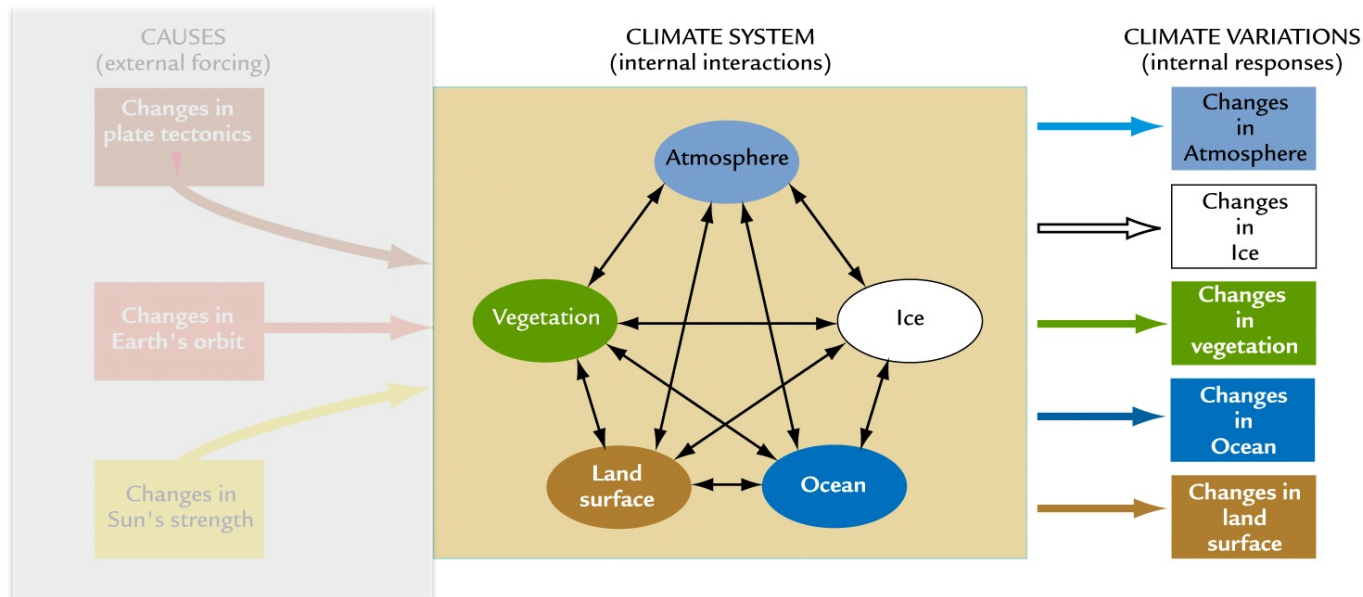
- **Variaciones “libres” o internas**

Se deben a inestabilidades internas del sistema climático y a la interacción entre subsistemas. Ej. NAO interacción océano-atmósfera

- **Variaciones forzadas**

Los cambios climáticos ocurren por forzamientos externos.

Ej. Calentamiento global a causa de las emisiones antropogénicas.



## Espectro de variabilidad climática

1 día	ciclos diurnos
1 mes (29,5 días)	ciclos lunares, mareas
meses-1 año	ciclos estacionales,
10 - 10 <sup>2</sup> y	Manchas solares (Gleissberg cycle, ...) Sistema Océano-Atmósfera (e.g.El Niño, NAO) Actividad volcánica
7 ky, 2-3ky	Ciclos de Bond, ciclos Dansgaard-Oeschger inestabilidad del sistema continental-hielo
23 ky, 19 ky	Precesión del eje de rotación inclinado
41 ky	Grado de inclinación del eje de rotación
100 ky	Dinámica de glaciaciones
10 <sup>5</sup> y - 10 <sup>6</sup> y	Eccentricidad de la órbita terrestre
10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup> y	Factores paleogeográficos (deriva continental, orogénesis), ciclo del carbono a largo plazo
10 <sup>9</sup> y	Cambios en la intensidad lumínica del sol





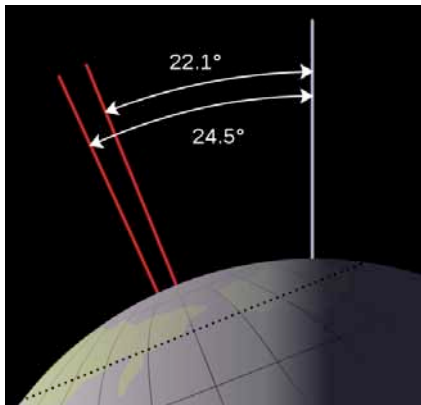
## Ciclos de Milankovitch

A partir del trabajo del James Croll, el matemático serbio Milutin Milankovitch, comenzó en los 1910's a hacer una serie de cálculos astronómicos que demostraban cómo las variaciones en la órbita terrestre eran causantes fundamentales de las glaciaciones y otras variaciones climáticas. Sus teorías aún son controversiales...

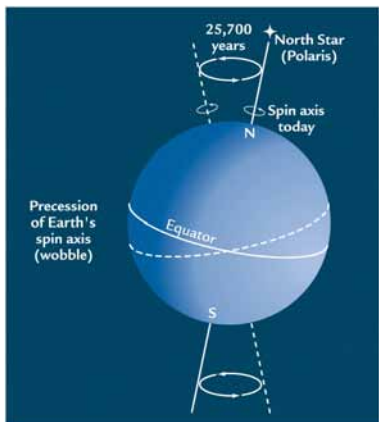
# Cambios en insolación por parámetros orbitales Ciclos de Milankovitch



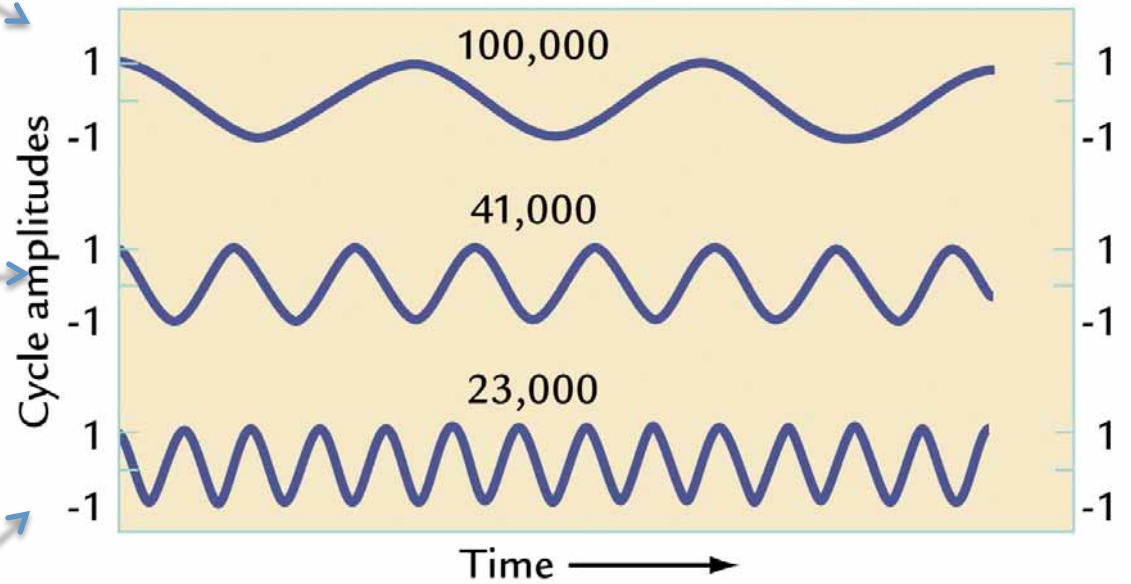
Eccentricity, 100 ka



Obliquity or tilt (22.1-24.5°), 41 ka



Precession, 23ka, 19ka



A Individual sine-wave cycles

## Eccentricidad e

Actual: 0.0167 (casi circular)

Perihelion 147 mio km (Jan 3)

Aphelion 152 mio km (July 4)

i. e. N winter warmer

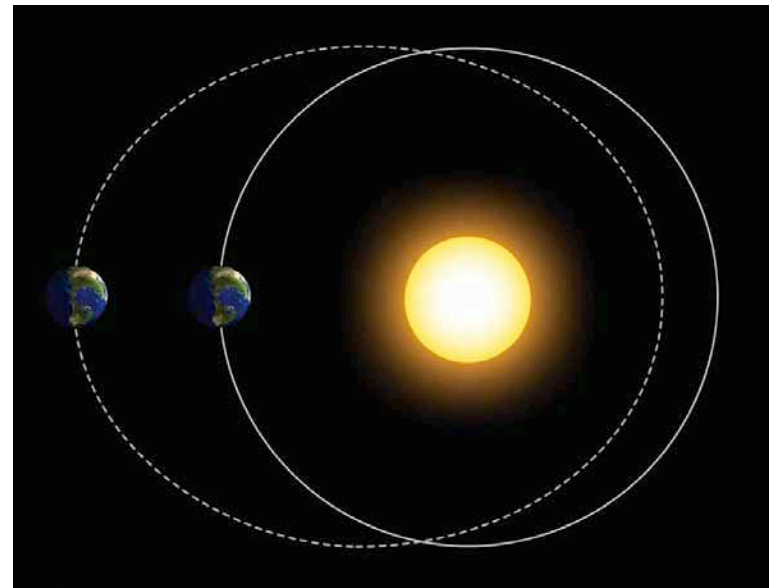
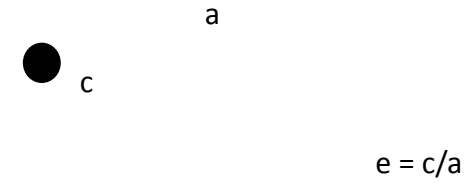
Períodos: 95.000 y, 125.000 y, 409.000 y

Causa: la elíptica de la órbita varía entre 0.0006 y 0.0543 (el eje corto)

Efectos: cambios directos en la insolación <0.1%

Modulación de la amplitud de la precesión

no eccentricidad => no efectos precesional



## Oblicuidad $\epsilon$

**Actual:** 23.5°

**Periodos:** 41.000 y, (54.000 y, 1.2 mio y)

**Causa:** La inclinación del eje de la tierra varía entre 22.1° and 24.5°

**Efectos:** estacionalidad

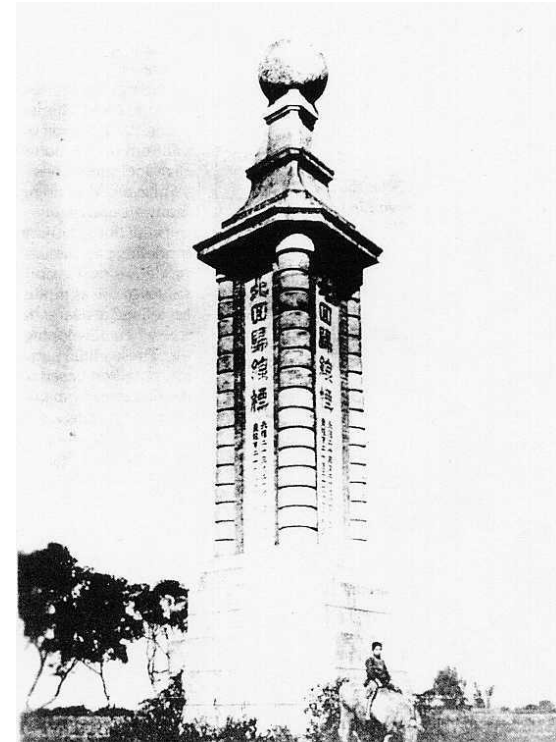
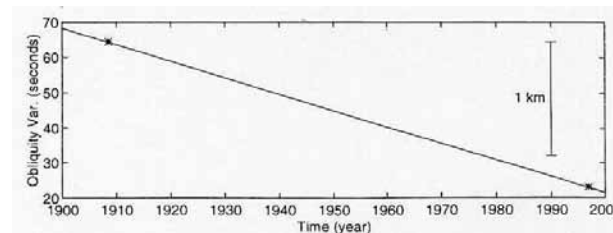
Alta obl. => verano cálido, invierno frío en ambos hemisferios.

Otros planetas: Mercurio 0°, Venus 177°,

Marte 25.2°, Jupiter 3.1°, Saturno 25.3°,

Urano 97.9°, Neptuno 28.3°, Plutón 122.5°

[VIDEO](#)



Jia-Yi monument, Taiwan, erected 1908 at the northern tropic of cancer

Chao + 1996, EOS

## Precesión $e * \sin \omega$

**Actual:** perihelion en N invierno  
**Períodos:** 19.000 y, 23.000 y  
**Causa:** Momento angular de la tierra  
achatada  $r_{eq} = 6378 \text{ km}$ ,  $r_{polar} = 6367 \text{ km}$ )

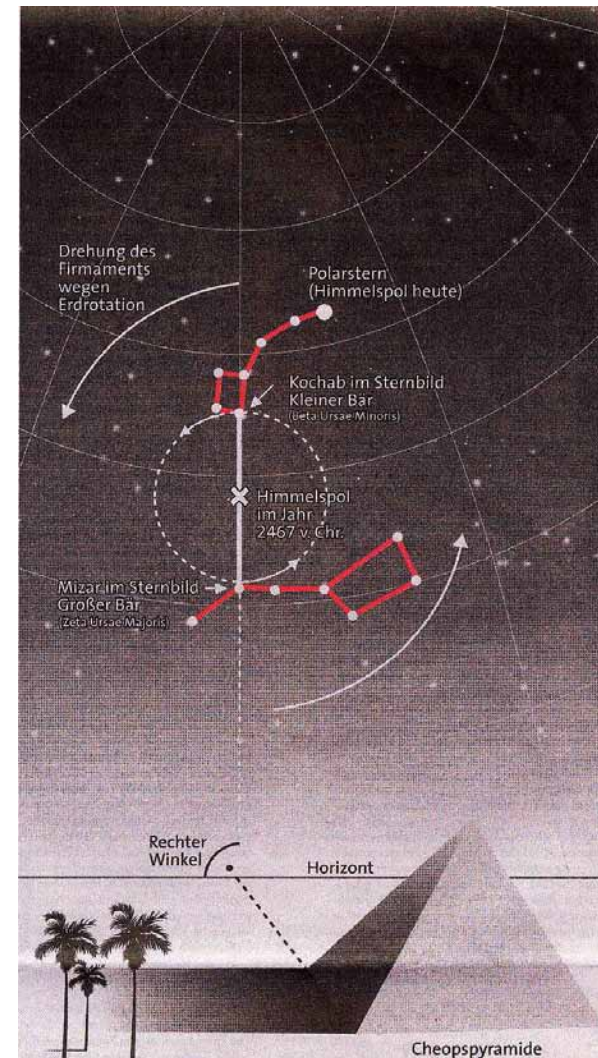
### **Efecto:**

=> cambio de las estaciones relativas al perihelion y el aphelion

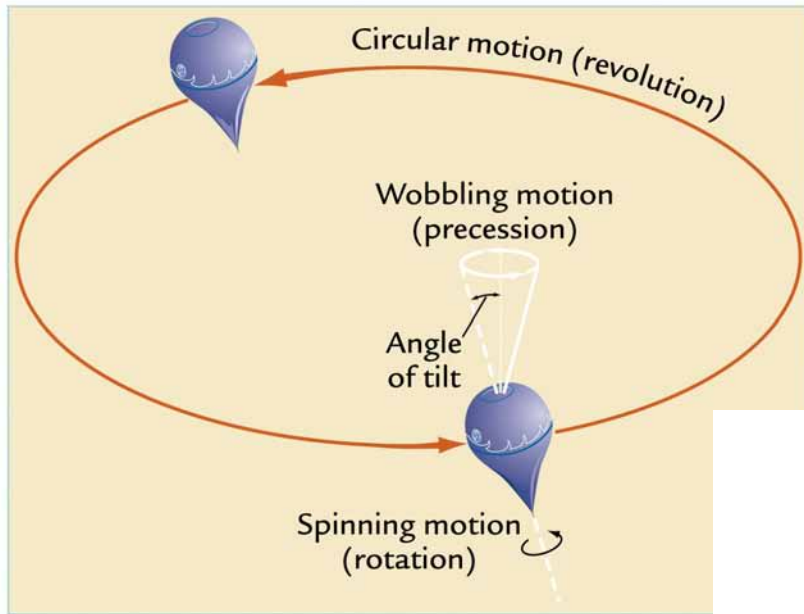
invierno en perihelion => invierno suave

Se utilizó para datar precisamente la pirámide de Cheops: año 2467 a.C. (vs. 2552 antes)

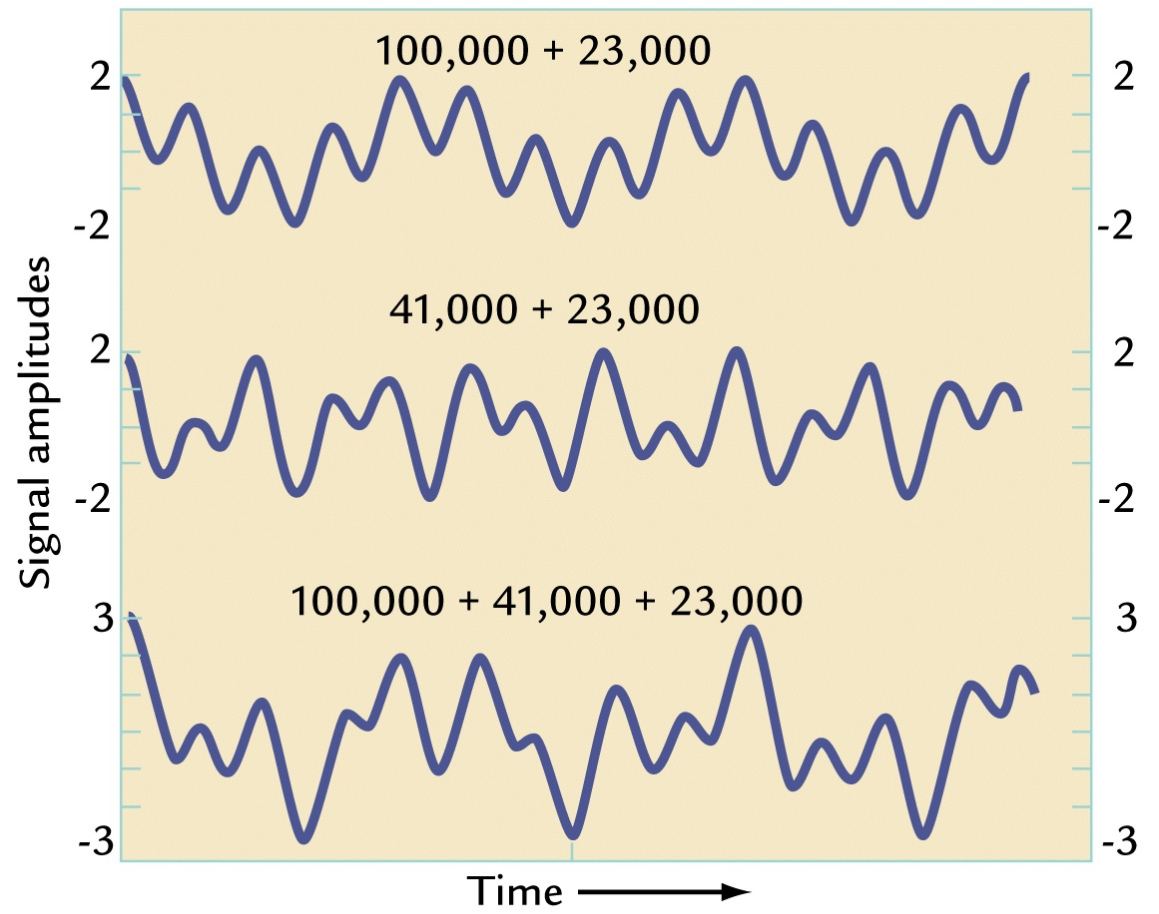
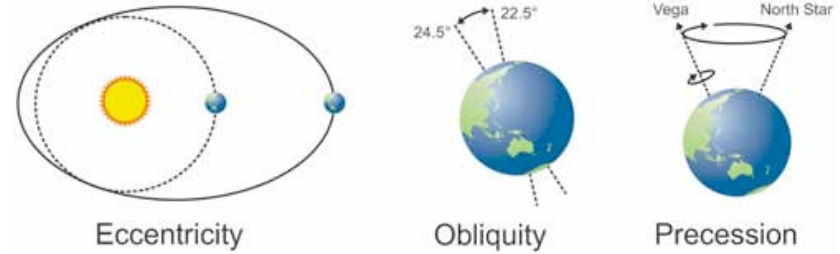
[VIDEO](#)



Spence + 2000, Nature



## Milankovitch Cycles

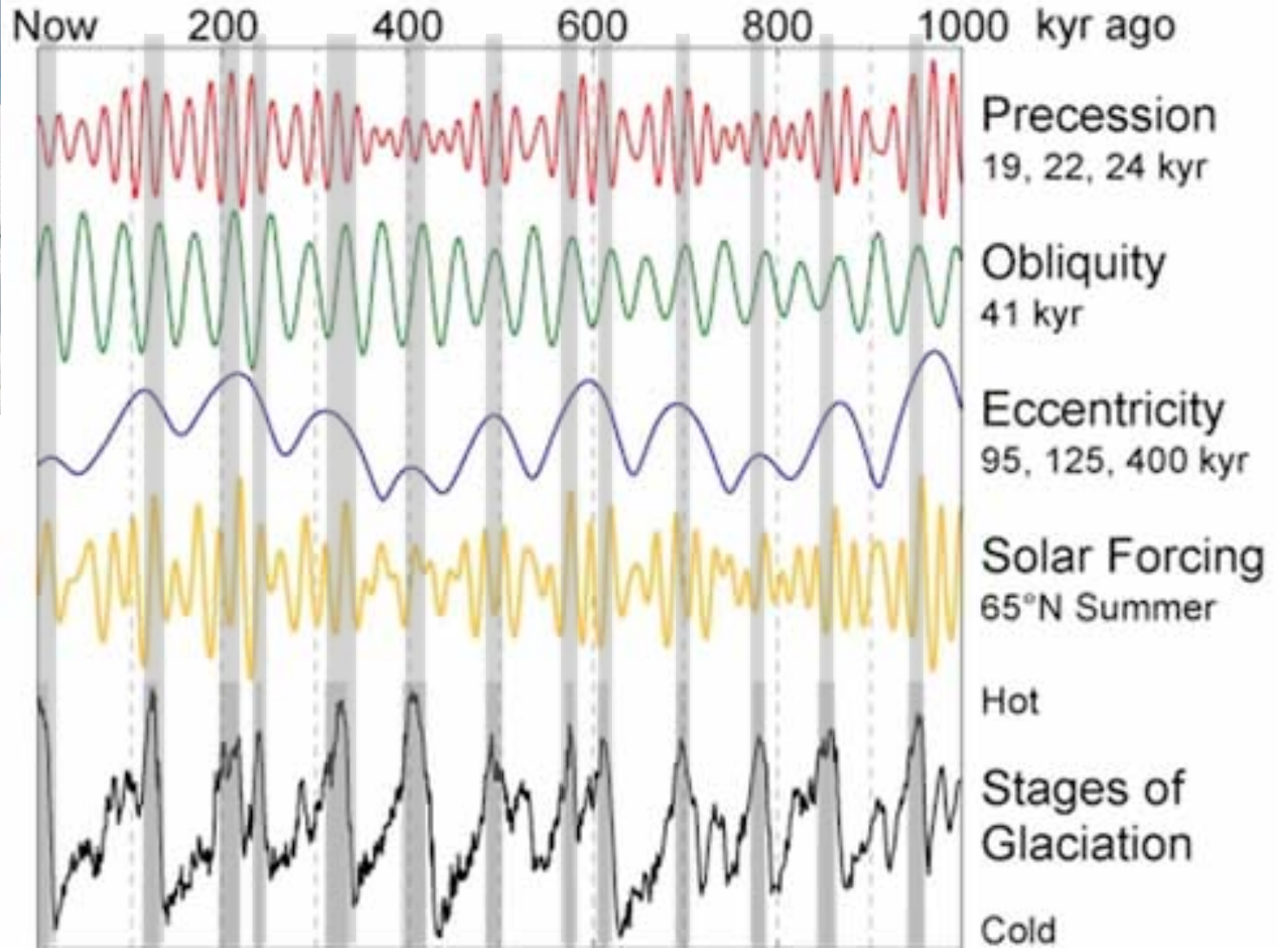


Bibliografía recomendada:

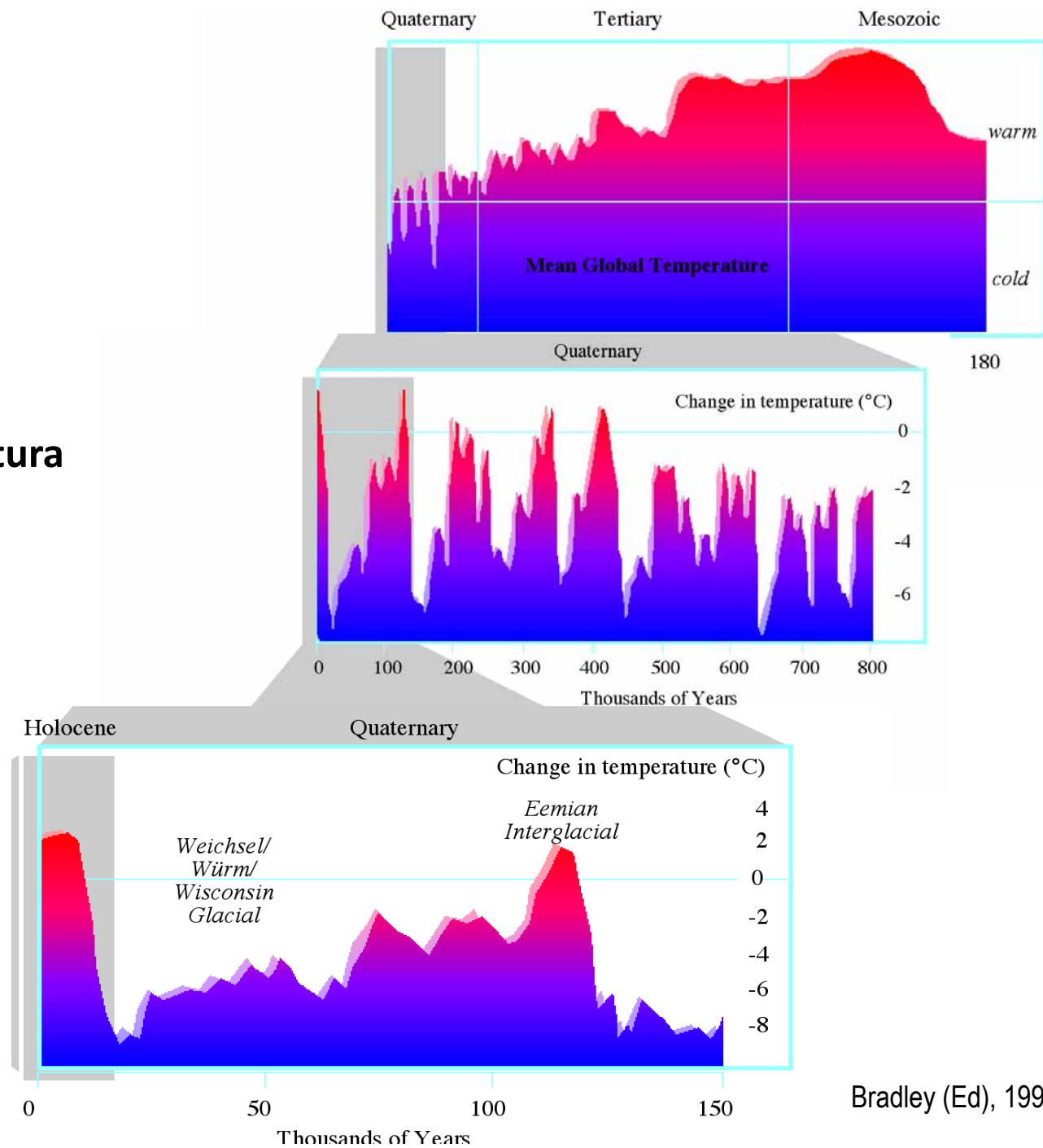
Crowley 2002

**“Cycles, Cycles Everywhere”**

**B** Combination of cycles



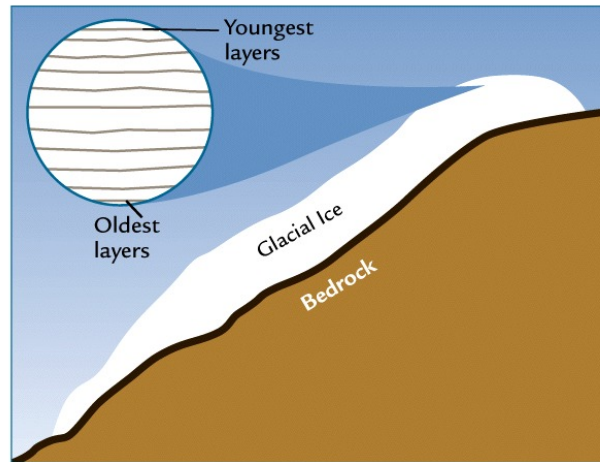
# Cambios de temperatura en diferentes escalas de tiempo



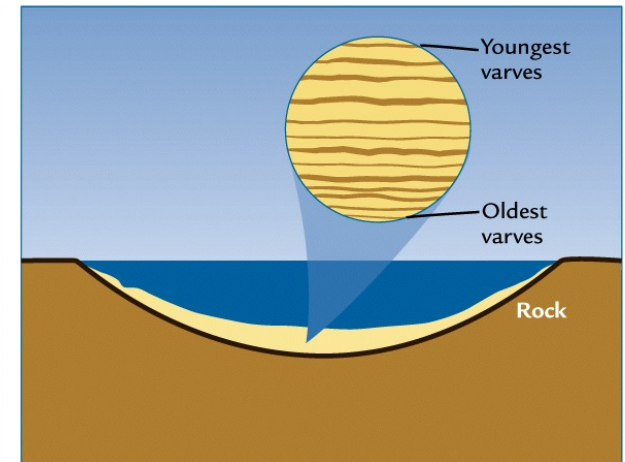


# Cómo reconstruimos el clima del pasado?

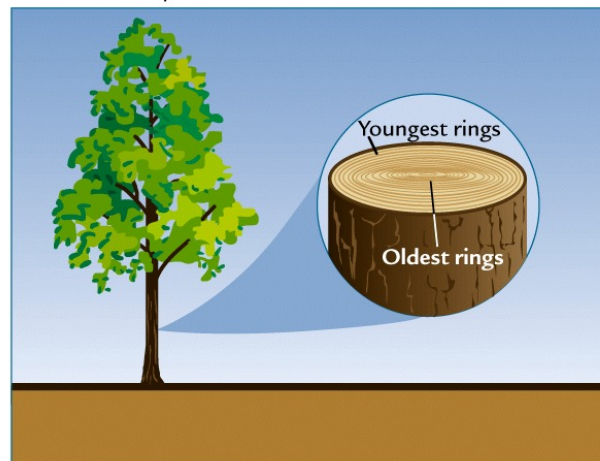
- Los archivos de clima contienen historias de cambios climáticos pasados para aquellos que pueden leerlas.
- Los principales archivos son los sedimentos (marinos y continentales), el hielo, los corales y los árboles



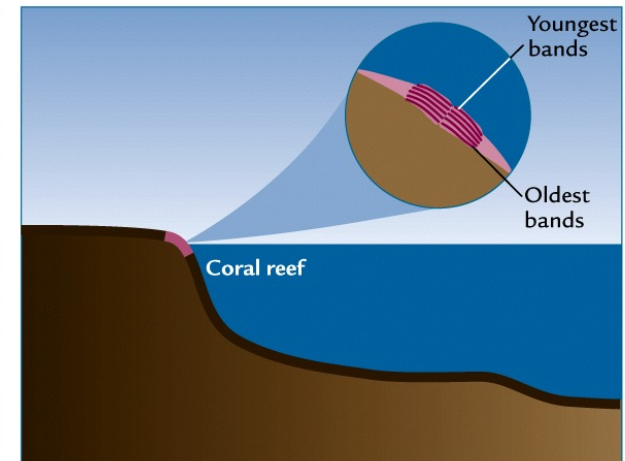
A Annual ice layers



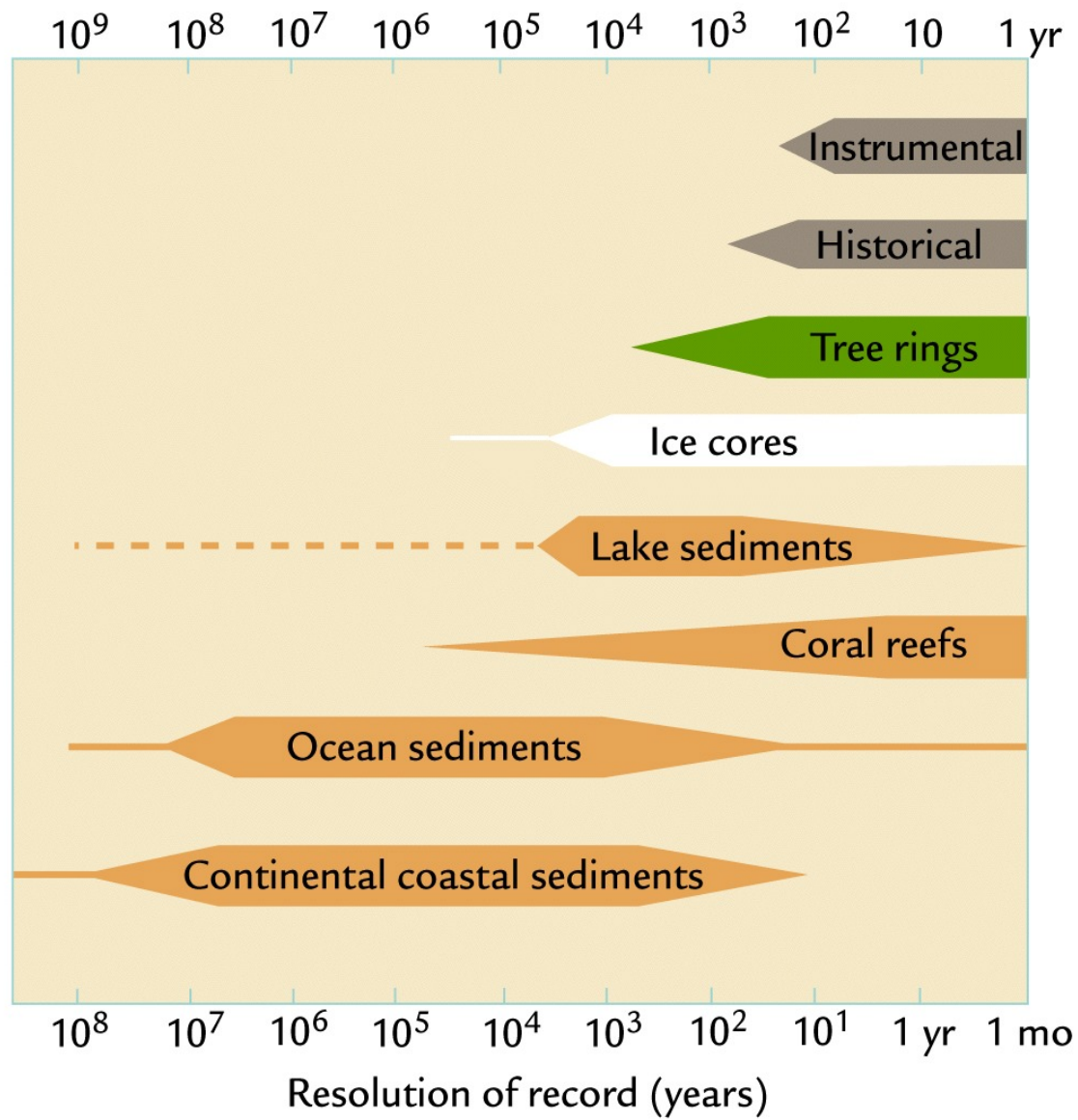
B Annual sediment varves



C Annual tree rings



D Annual coral bands



**TABLE 1.2 Characteristics of Natural Archives**

Archive	Minimum sampling interval	Temporal range (order: yr)	Potential information derived
Historical records	day/hr	$\sim 10^3$	T, P, B, V, M, L, S
Tree rings	yr/season	$\sim 10^4$	T, P, B, V, M, S
Lake sediments	yr (varves) to 20 yr	$\sim 10^4$ – $10^6$	T, B, M, P, V, $C_w$
Corals	yr	$\sim 10^4$	$C_w$ , L, T, P
Ice cores	yr	$\sim 5 \times 10^5$	T, P, $C_a$ , B, V, M, S
Pollen	20 yr	$\sim 10^5$	T, P, B
Speleothems	100	$\sim 5 \times 10^5$	$C_w$ , T, P
Paleosols	100 yr	$\sim 10^6$	T, P, B
Loess	100 yr	$\sim 10^6$	P, B, M
Geomorphic features	100 yr	$\sim 10^6$	T, P, V, L, P
Marine sediments	500 yr <sup>a</sup>	$\sim 10^7$	T, $C_w$ , B, M, L, P

T = temperature

P = precipitation, humidity, or water balance (P-E)

C = chemical composition of air ( $C_a$ ) or water ( $C_w$ )

B = information on biomass and vegetation patterns

V = volcanic eruptions

M = geomagnetic field variations

L = sea level

S = solar activity

After Bradley and Eddy (1991).

<sup>a</sup> In rare circumstances (varved sediments)  $\leq 10$  yr.

# Proxis climáticos

- Los archivos de clima contienen muchos indicadores de climas del pasado que se conocen como “proxies” climáticos
- La obtención de información climática no es directa.
- Para descifrar el clima, primero hay que determinar la relación entre el proxi y el parámetro climático.

**TABLE I.1 Principal Sources of Proxy Data for Paleoclimatic Reconstructions**

---

**(1) Glaciological (ice cores)**

- (a) geochemistry (major ions and isotopes of oxygen and hydrogen)
- (b) gas content in air bubbles
- (c) trace element and microparticle concentrations
- (d) physical properties (e.g., ice fabric)

---

**(2) Geological**

*(A) Marine (ocean sediment cores)*

*(i) Biogenic sediments (planktonic and benthic fossils)*

- (a) oxygen isotopic composition
- (b) faunal and floral abundance
- (c) morphological variations
- (d) alkenones (from diatoms)

*(ii) Inorganic sediments*

- (a) terrestrial (aeolian) dust and ice-rafted debris
- (b) clay mineralogy

*(B) Terrestrial*

- (a) glacial deposits and features of glacial erosion
- (b) periglacial features
- (c) shorelines (Eustatic and glacio-eustatic features)
- (d) aeolian deposits (loess and sand dunes)
- (e) lacustrine sediments, and erosional features (shorelines)
- (f) pedological features (relict soils)
- (g) speleothems (age and stable isotope composition)

---

**(3) Biological**

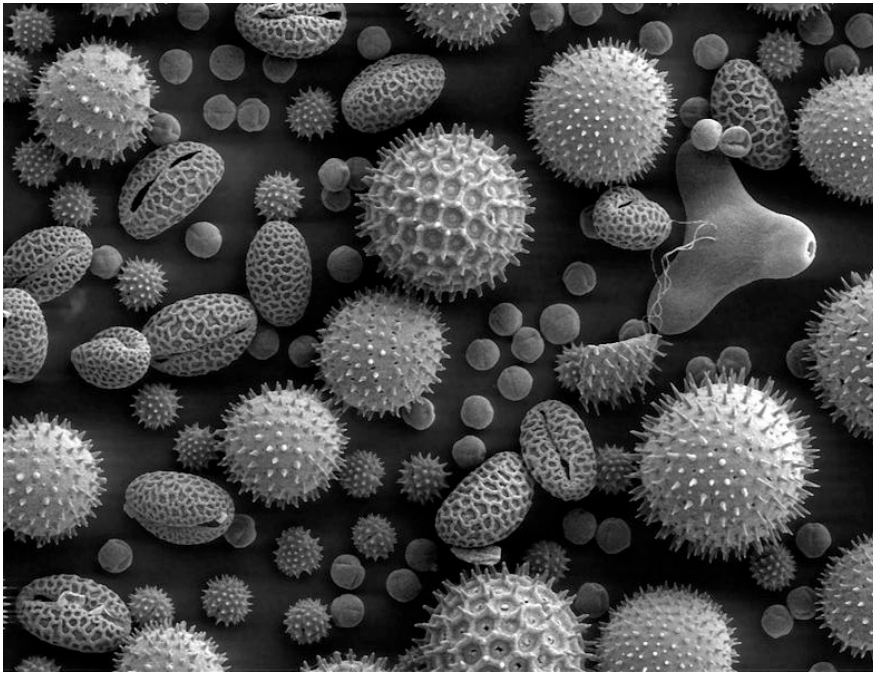
- (a) tree rings (width, density, stable isotope composition)
- (b) pollen (type, relative abundance, and/or absolute concentration)
- (c) plant macrofossils (age and distribution)
- (d) insects (assemblage characteristics)
- (e) corals (geochemistry)
- (f) diatoms, ostracods, and other biota in lake sediments (assemblages, abundance, and/or geochemistry)
- (g) modern population distribution (refugia and relict populations of plants and animals)

---

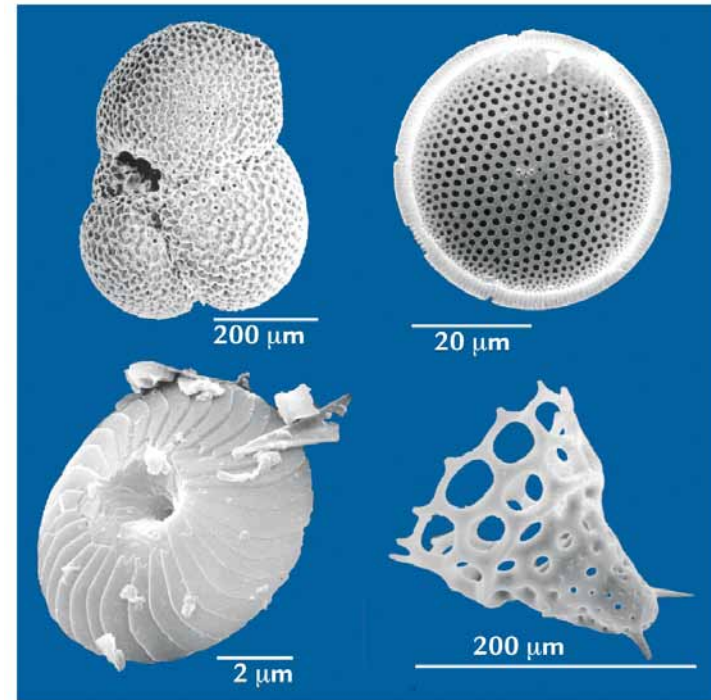
**(4) Historical**

- (a) written records of environmental indicators (parameteorological phenomena)
  - (b) phenological records
-

# Proxies bióticos

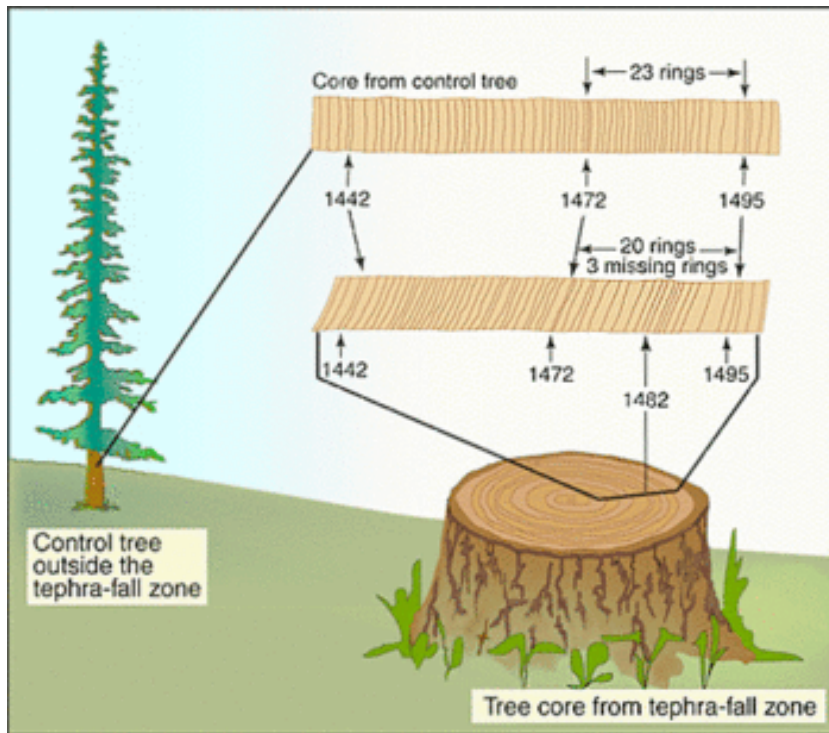


**Polen:** un proxy indicador de vegetación, clima y ambientes terrestres.

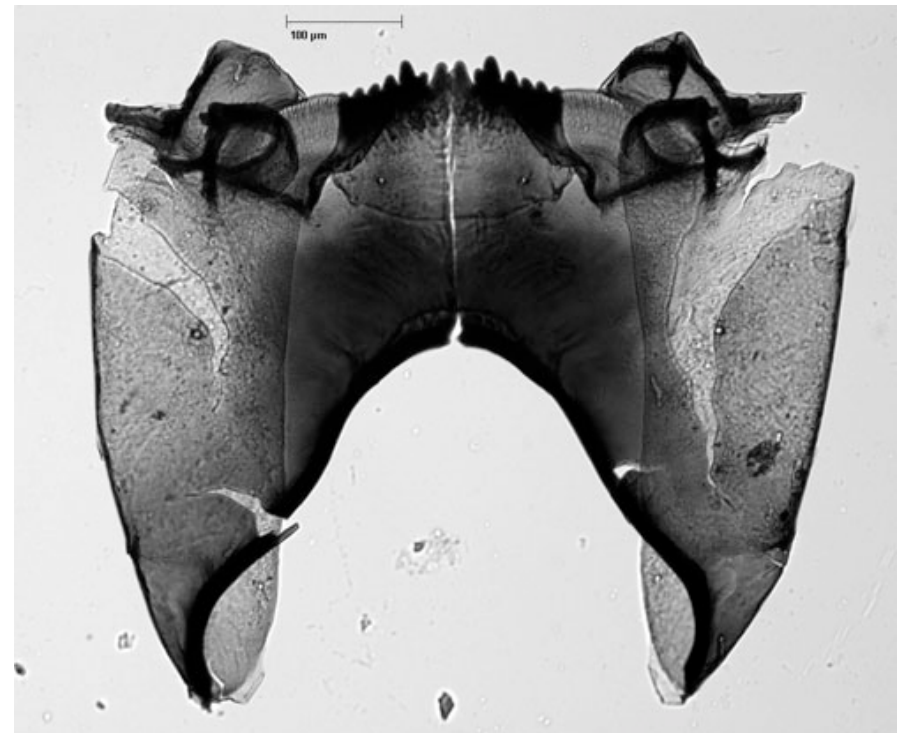


**Plankton:** proxies indicadores de clima y ambientes marinos. Diatomeas, foraminíferos, dinoflagelados, radiolarios, coccolitofóridos.

# Proxies bióticos



**Anillos de crecimiento de los árboles:** un proxy indicador de vegetación, clima y ambientes terrestres.



**Insectos (ej. Chironomidos):** proxies indicadores de clima y ambientes terrestres.

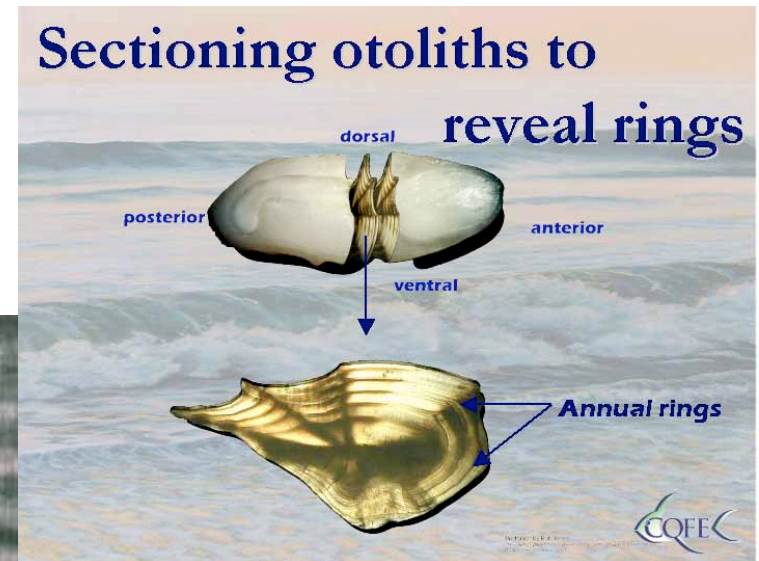
# Proxies bióticos



**Macrofósiles:** proxy indicadores de clima y ambientes terrestres y marinos



**Corales:** proxies indicadores de clima y ambientes marinos. Buena resolución



**Otolitos:** proxies indicadores de clima y ambientes marinos. Buena resolución



# Proxies geológicos y geoquímicos



**Partículas de sedimentos:** origen y épocas de sequía/inundación, épocas frías (sedimentos glaciales, eólicos, fluviales)



**Speleotemas:** cronologías e isótopos para estimar temperatura, precipitación

# Proxies geológicos y geoquímicos



**Depósitos glaciales:** erosión glacial, máximas extensiones, temperatura



**Registros de hielo:** cronologías e isótopos para estimar temperatura, precipitación, contenidos de gases, isótopos

# Proxies geológicos y geoquímicos



The DOSECC GLAD800 drilling barge on Lake Bosumtwi (Ghana), during the ICDP drilling project in September 2004 (photo: C. Koeberl)

**Sedimentos lacustres**  
**(laminados):** isótopos, balances  
hídricos, erosión, etc.



**Sedimentos marinos:** cronologías e  
isótopos para estimar temperatura,  
mineralogía, alquenones,  
biomarcadores, circulación, etc.

# Perforando el fondo oceánico

## NWO: From Ocean Floor to Climate Reconstruction

OceanLeadership

134 videos

Suscribirse

### FROM OCEAN FLOOR TO CLIMATE RECONSTRUCTION

*THE CYCLE OF OCEAN DRILLING*



0:14 / 5:39



240p

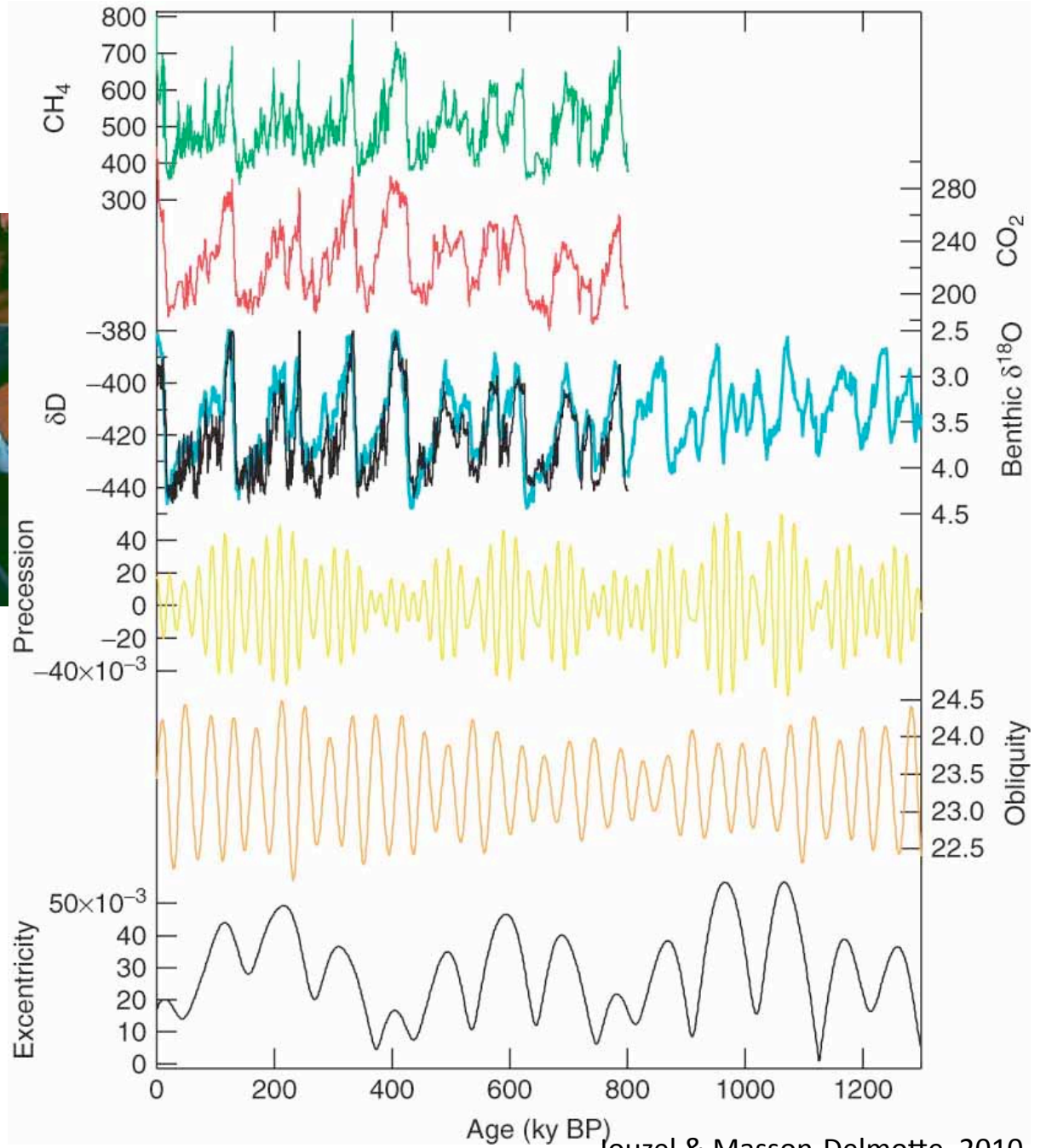


# 1. Evidencias paleoclimáticas- orbitales

## Espectro de variabilidad climática

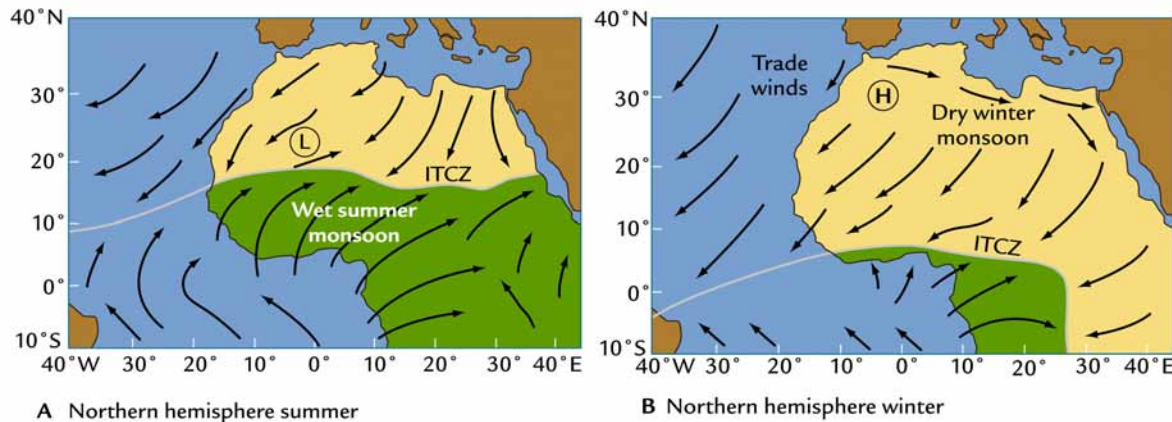
1 día	ciclos diurnos
1 mes (29,5 días)	ciclos lunares, mareas
meses-1 año	ciclos estacionales,
10 - 10 <sup>2</sup> y	Manchas solares (Gleissberg cycle, ...) Sistema Océano-Atmósfera (e.g.El Niño, NAO) Actividad volcánica
7 ky, 2-3ky	Ciclos de Bond, ciclos Dansgaard-Oeschger inestabilidad del sistema continental-hielo
23 ky, 19 ky	Precesión del eje de rotación inclinado
41 ky	Grado de inclinación del eje de rotación
100 ky	Dinámica de glaciaciones
10 <sup>5</sup> y - 10 <sup>6</sup> y	Eccentricidad de la órbita terrestre
10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup> y	Factores paleogeográficos (deriva continental, orogénesis), ciclo del carbono a largo plazo
10 <sup>9</sup> y	Cambios en la intensidad lumínica del sol

# Antártica



Jouzel & Masson-Delmotte, 2010

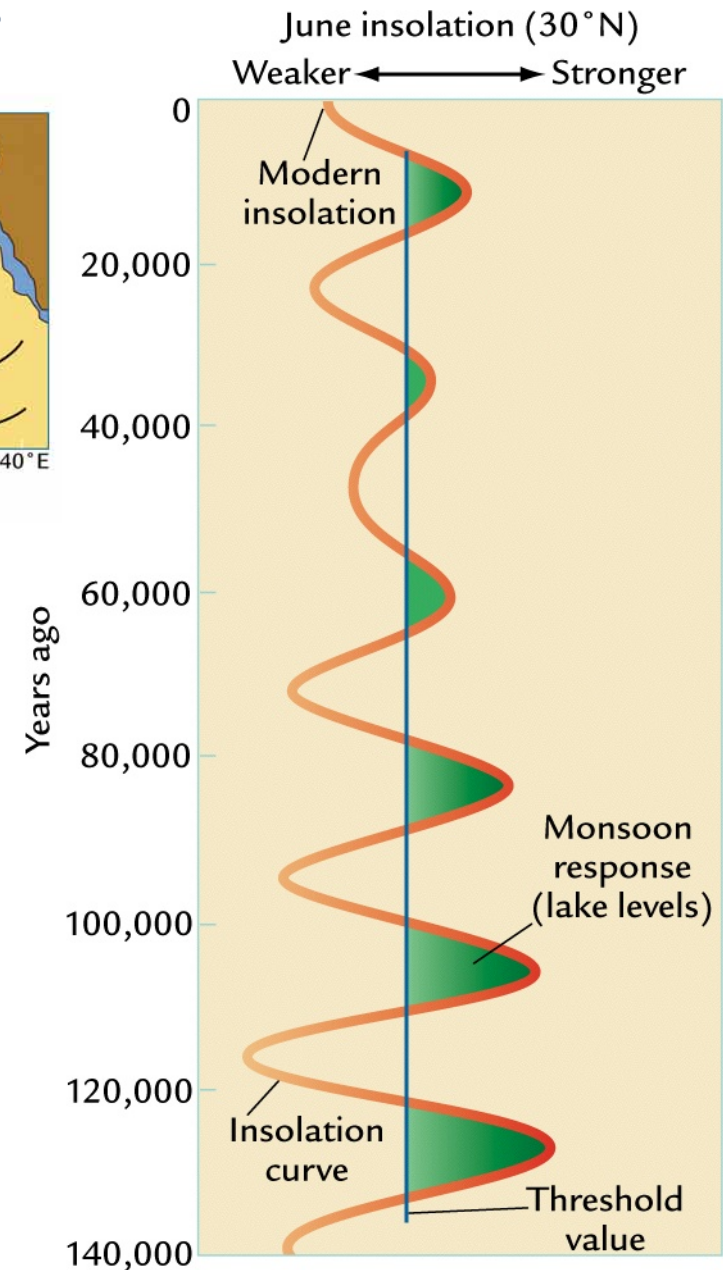
# África: intensidad de los monsoones



## Precesión

Los incrementos en la insolación causan una intensificación en los monsoones con una periodicidad de **23,000 años**.

La intensidad de la respuesta está relacionada con la amplitud del cambio en insolación



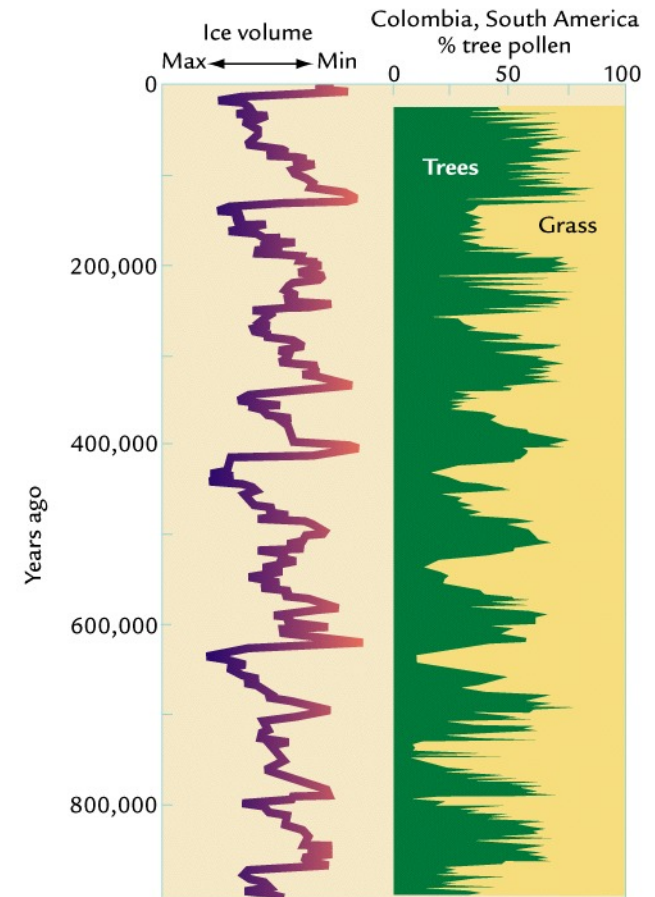
Ruddiman, 2008



# Suramérica: Vegetación en los Andes de Colombia

## Eccentricidad

En los registros de la laguna de Funza (Cundinamarca) se puede observar como la vegetación cambia entre bosques y praderas con una periodicidad de **100,000 años**, que coincide con el ritmo glacial/interglacial del Hemisferio Norte.



Ruddiman, 2008

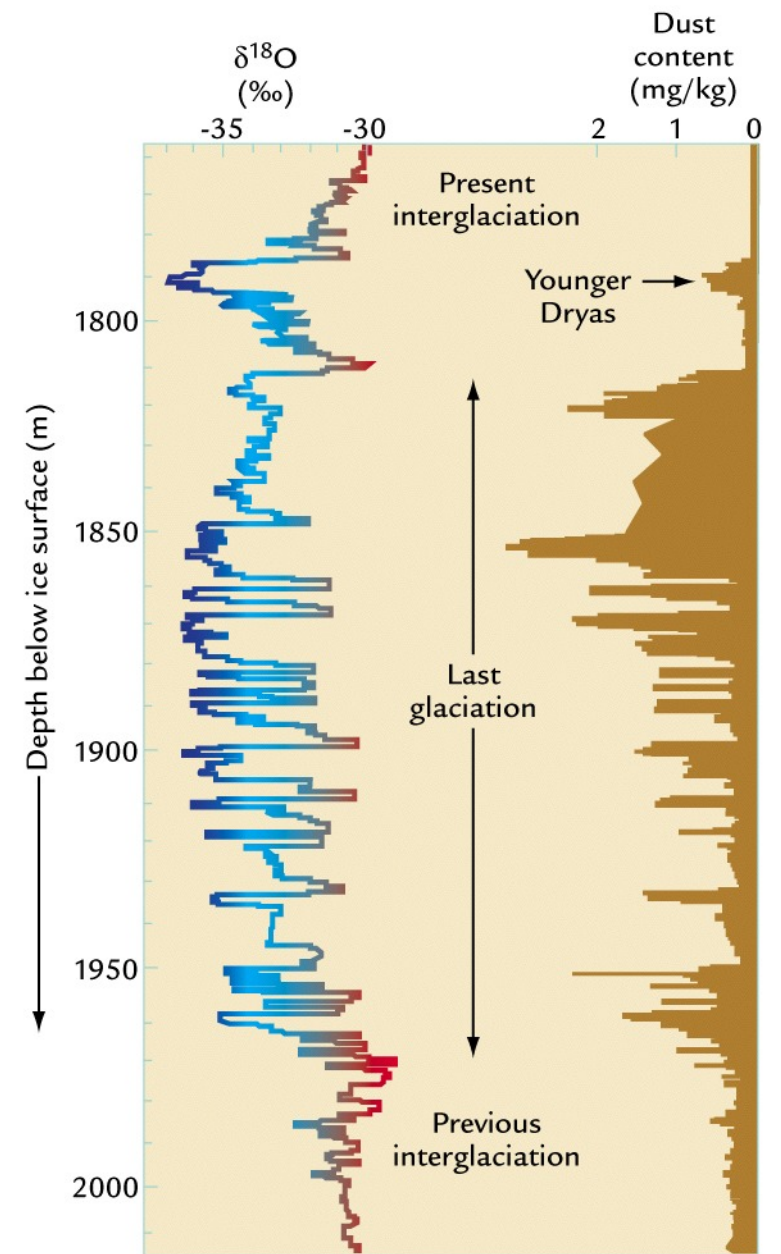
## 2. Evidencias paleoclimáticas- mileniales

## Espectro de variabilidad climática

1 día	ciclos diurnos
1 mes (29,5 días)	ciclos lunares, mareas
meses-1 año	ciclos estacionales,
10 - 10 <sup>2</sup> y	Manchas solares (Gleissberg cycle, ...) Sistema Océano-Atmósfera (e.g.El Niño, NAO) Actividad volcánica
7 ky, 2-3ky	Ciclos de Bond, ciclos Dansgaard-Oeschger inestabilidad del sistema continental-hielo
23 ky, 19 ky	Precesión del eje de rotación inclinado
41 ky	Grado de inclinación del eje de rotación
100 ky	Dinámica de glaciaciones
10 <sup>5</sup> y - 10 <sup>6</sup> y	Eccentricidad de la órbita terrestre
10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup> y	Factores paleogeográficos (deriva continental, orogénesis), ciclo del carbono a largo plazo
10 <sup>9</sup> y	Cambios en la intensidad lumínica del sol

# Groenlandia

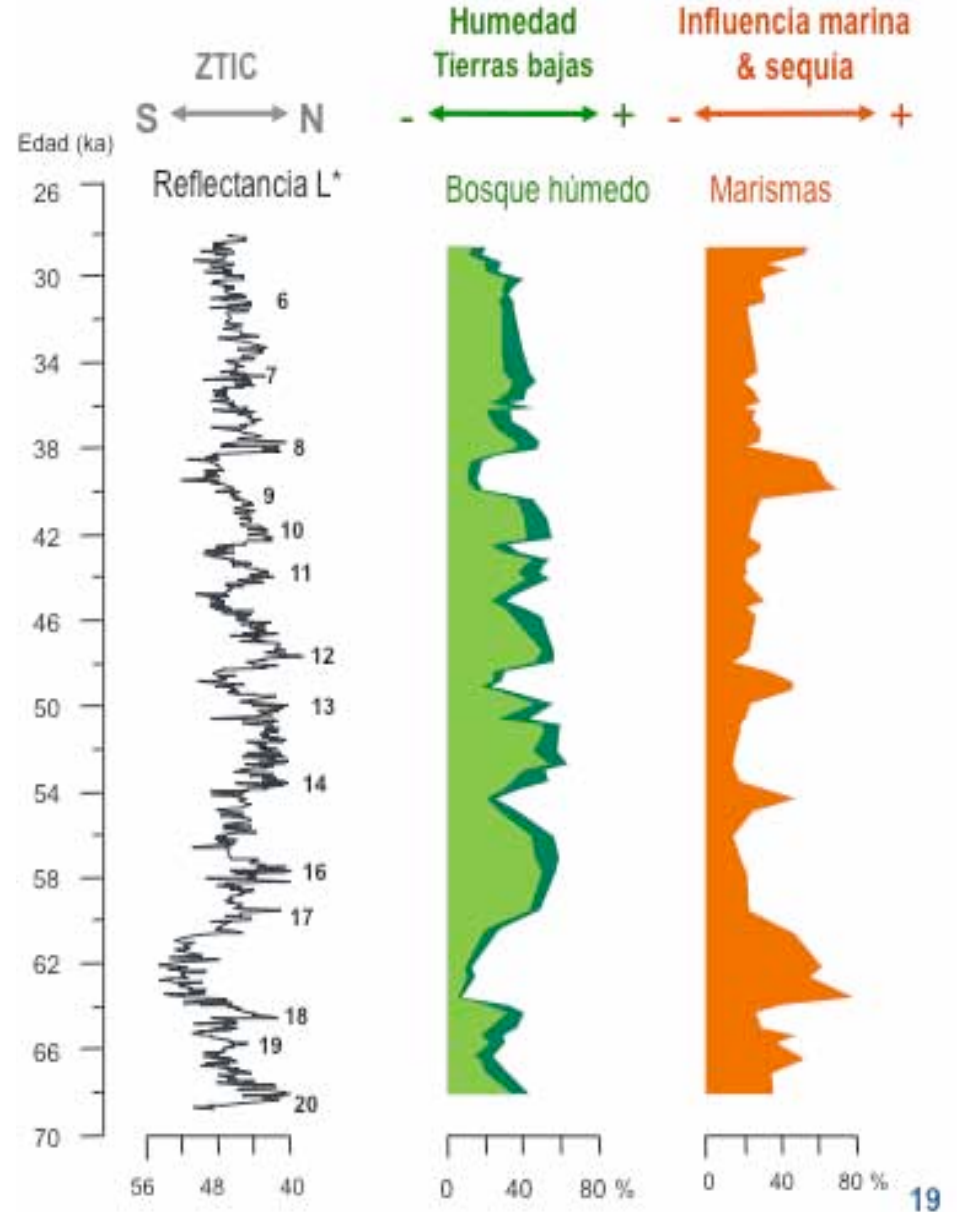
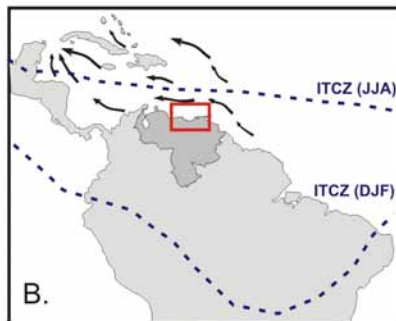
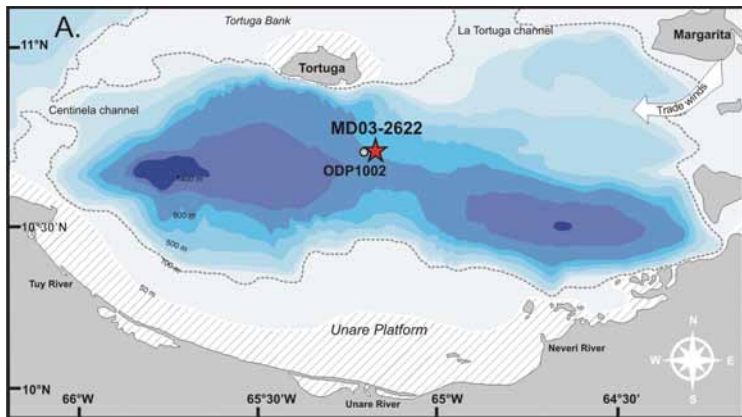
Oscilaciones mileniales en los testigos de hielo de Groenlandia: registros isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  y concentración de polvo.



Ruddiman, 2008

# Norte de Suramérica

Oscilaciones mileniales en los registros de vegetación tropical.



González et al. 2008

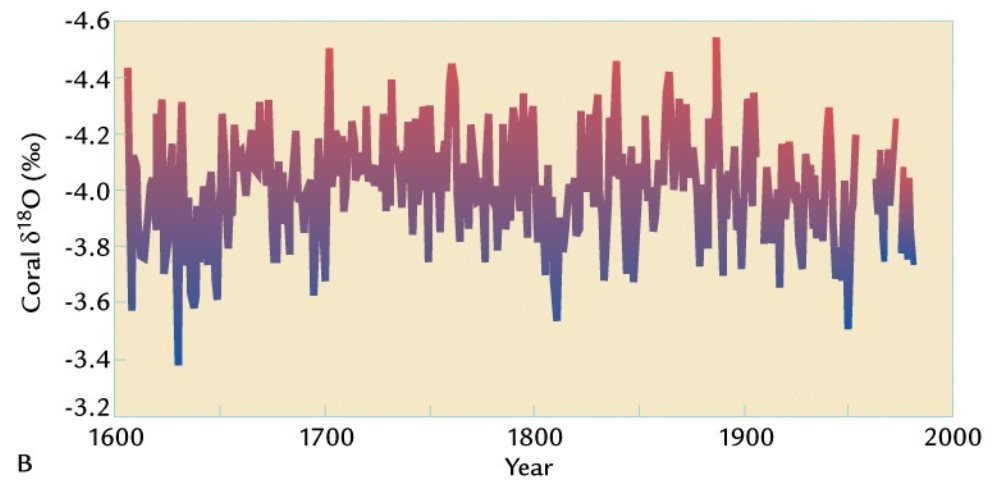
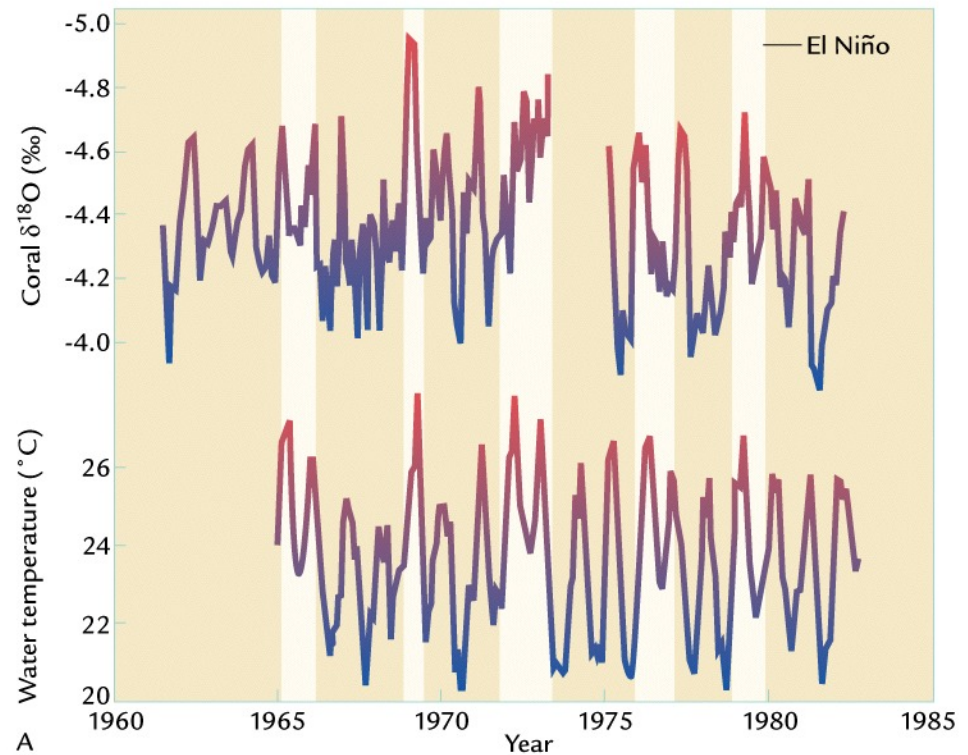
### 3. Evidencias paleoclimáticas- decadales

## Espectro de variabilidad climática

1 día	ciclos diurnos
1 mes (29,5 días)	ciclos lunares, mareas
meses-1 año	ciclos estacionales,
10 - 10 <sup>2</sup> y	Manchas solares (Gleissberg cycle, ...)
	Sistema Océano-Atmósfera (e.g.El Niño, NAO)
	Actividad volcánica
7 ky, 2-3ky	Ciclos de Bond, ciclos Dansgaard-Oeschger
	inestabilidad del sistema continental-hielo
23 ky, 19 ky	Precesión del eje de rotación inclinado
41 ky	Grado de inclinación del eje de rotación
100 ky	Dinámica de glaciaciones
10 <sup>5</sup> y - 10 <sup>6</sup> y	Eccentricidad de la órbita terrestre
10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup> y	Factores paleogeográficos (deriva continental, orogénesis), ciclo del carbono a largo plazo
10 <sup>9</sup> y	Cambios en la intensidad lumínica del sol

# Pacífico tropical

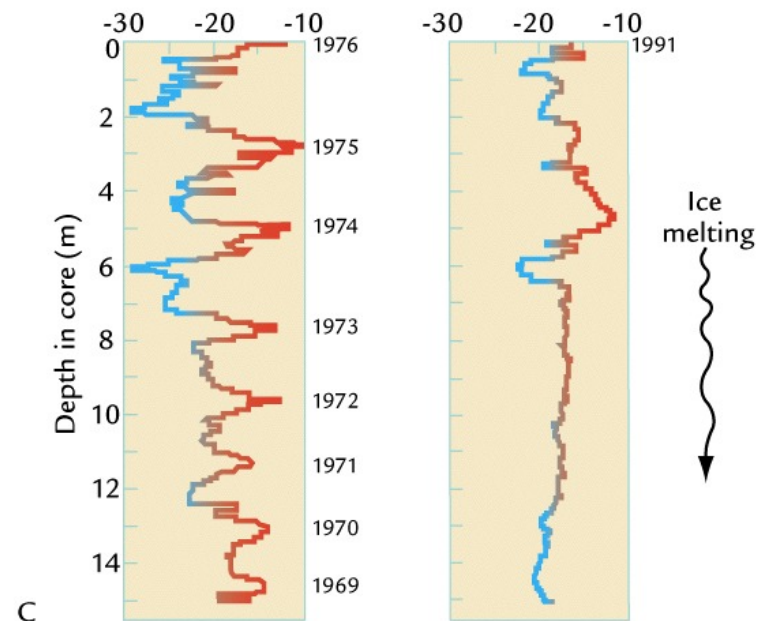
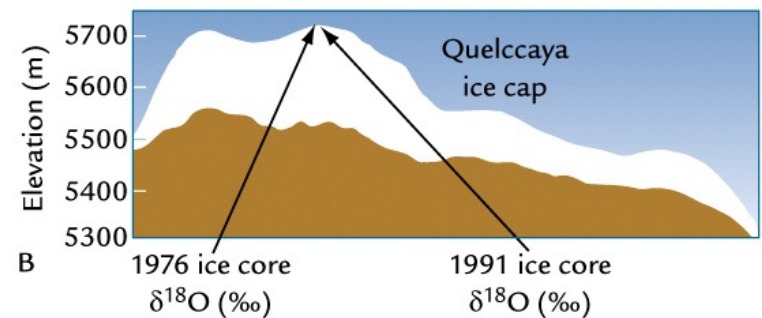
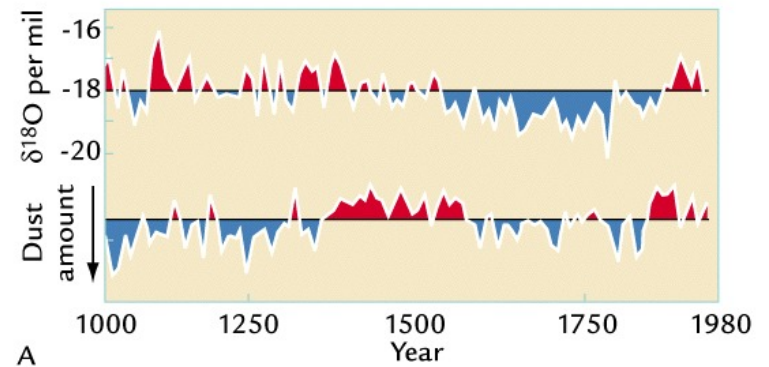
Los corales de las islas Galápagos registran valores negativos de  $\delta^{18}\text{O}$  durante El Niño.





# Andes tropicales

Dos registros de hielo en Quelccaya, Perú, muestran importantes diferencias. Las montañas tropicales estuvieron más frías durante La Pequeña Edad de Hielo.



Ruddiman, 2008