

Paleoclimatic records: clues to explain climate variability

Ligia Pérez-Cruz

INSTITUTO DE GEOFISCA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
LABORATORIO DE PALEOMAGNETISMO Y PALEOAMBIENTES
PROGRAMA UNIVERSITARIO DE PERFORACIONES EN OCÉANOS Y CONTINENTES



Sixth EGU Alexander von Humboldt International Conference
on
Climate Change, Natural Hazards, and Societies



- Sistema Climático
- Mecanismos que influyen en el cambio climático
- Registros naturales del clima
- Paleoclimatología
- Proxies

ma'alob, uts, ki' k'iin



¿Cuál es la diferencia entre tiempo meteorológico y clima?

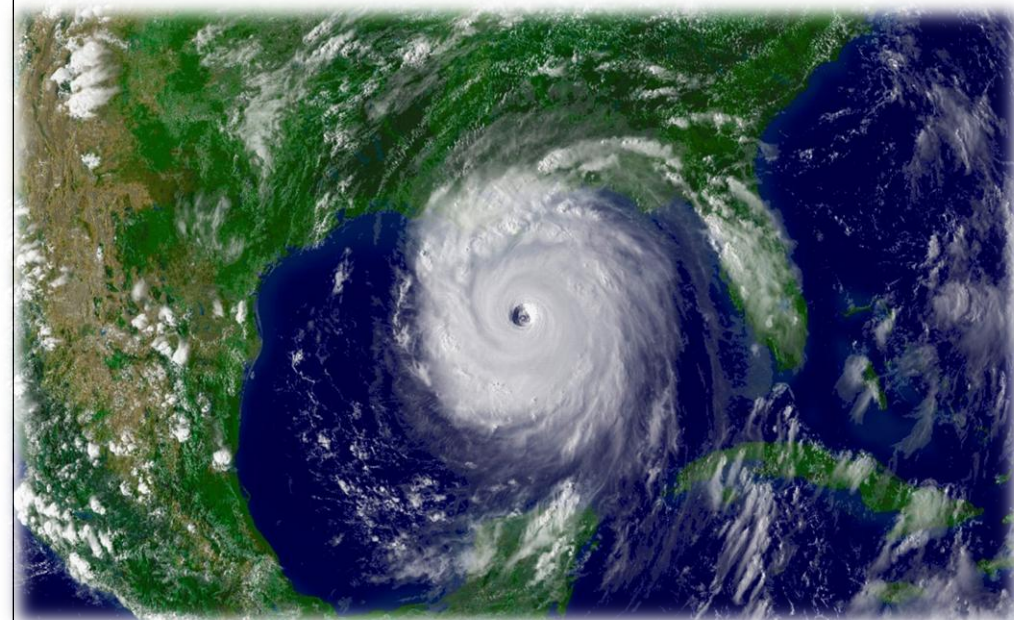


Tiempo meteorológico.

Cambios en **periodos cortos** (horas o días), en un lugar determinado. Como cambios en la lluvia, humedad, temperatura, velocidad del viento.

Clima:

Es el total de las **condiciones meteorológicas promedio** (de por lo menos 30 años) que ocurren en periodos largos en una región particular.



Huracanes



Tormentas tropicales





Tornados



Tormentas
eléctricas

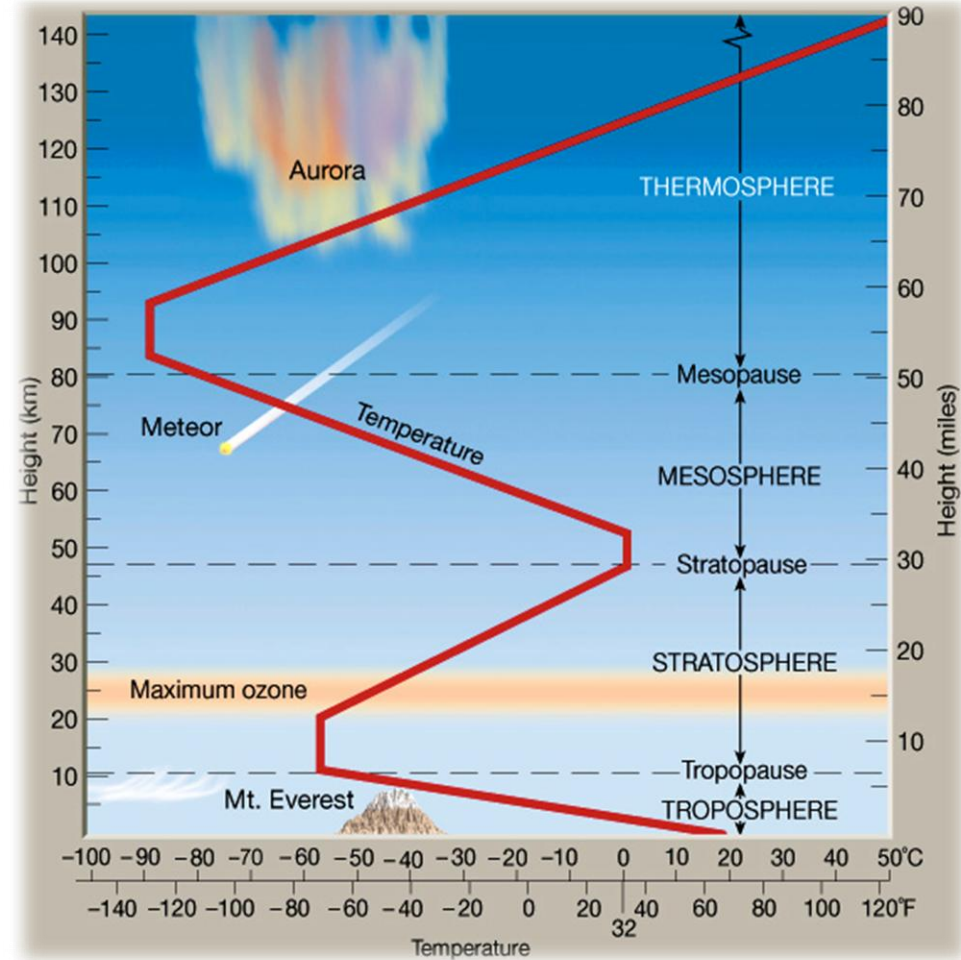
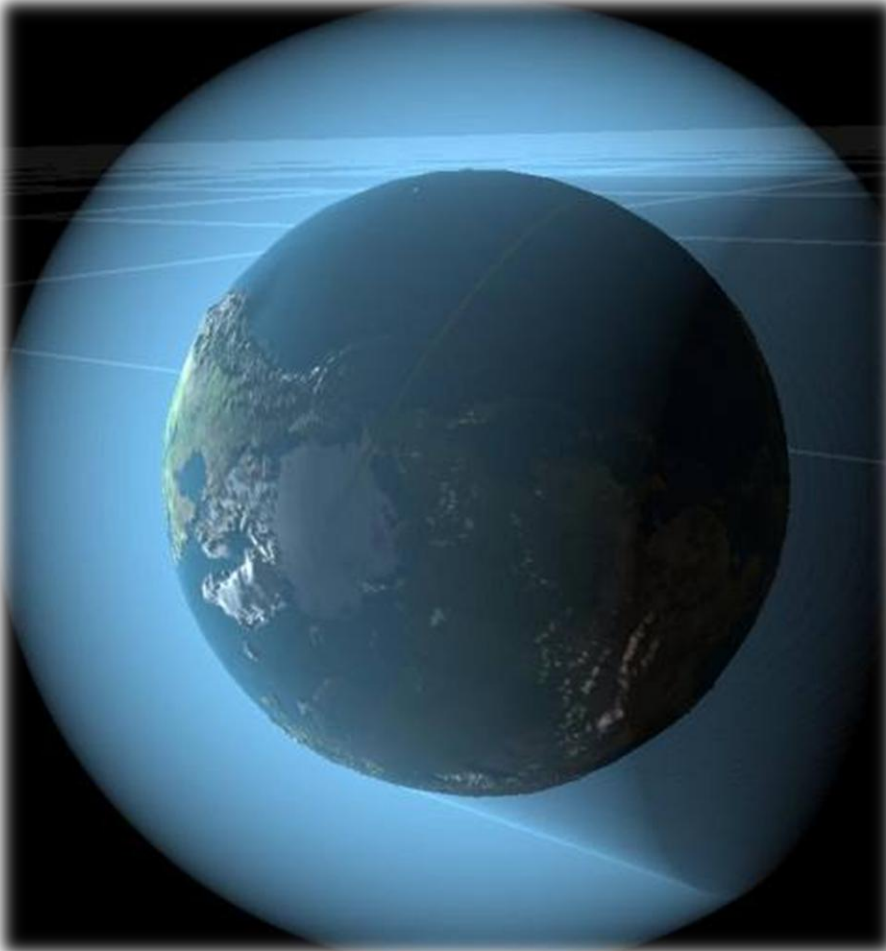
Receta para el Tiempo Meteorológico

Ingredientes

- Temperatura
- Presión
- Velocidad del Viento
- Humedad

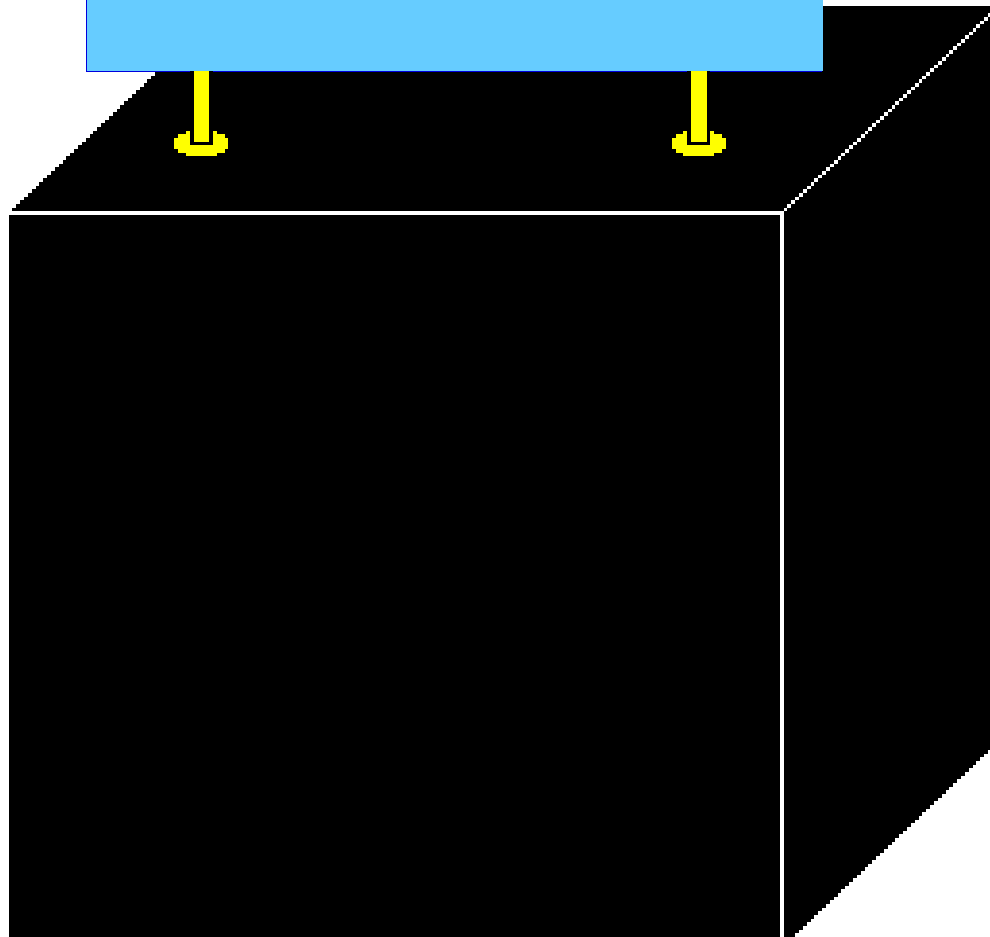
Combinar todos los ingredientes en la Tropósfera y mezclar bien y tendrá el tiempo meteorológico.

Componentes del Sistema Climático



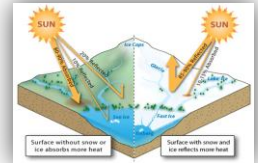
Los sistemas meteorológicos se desarrollan en la parte inferior de la atmósfera y están gobernados por el calor del sol, la rotación de la Tierra y las variaciones en la superficie

**Sistema
Climático
de la Tierra**

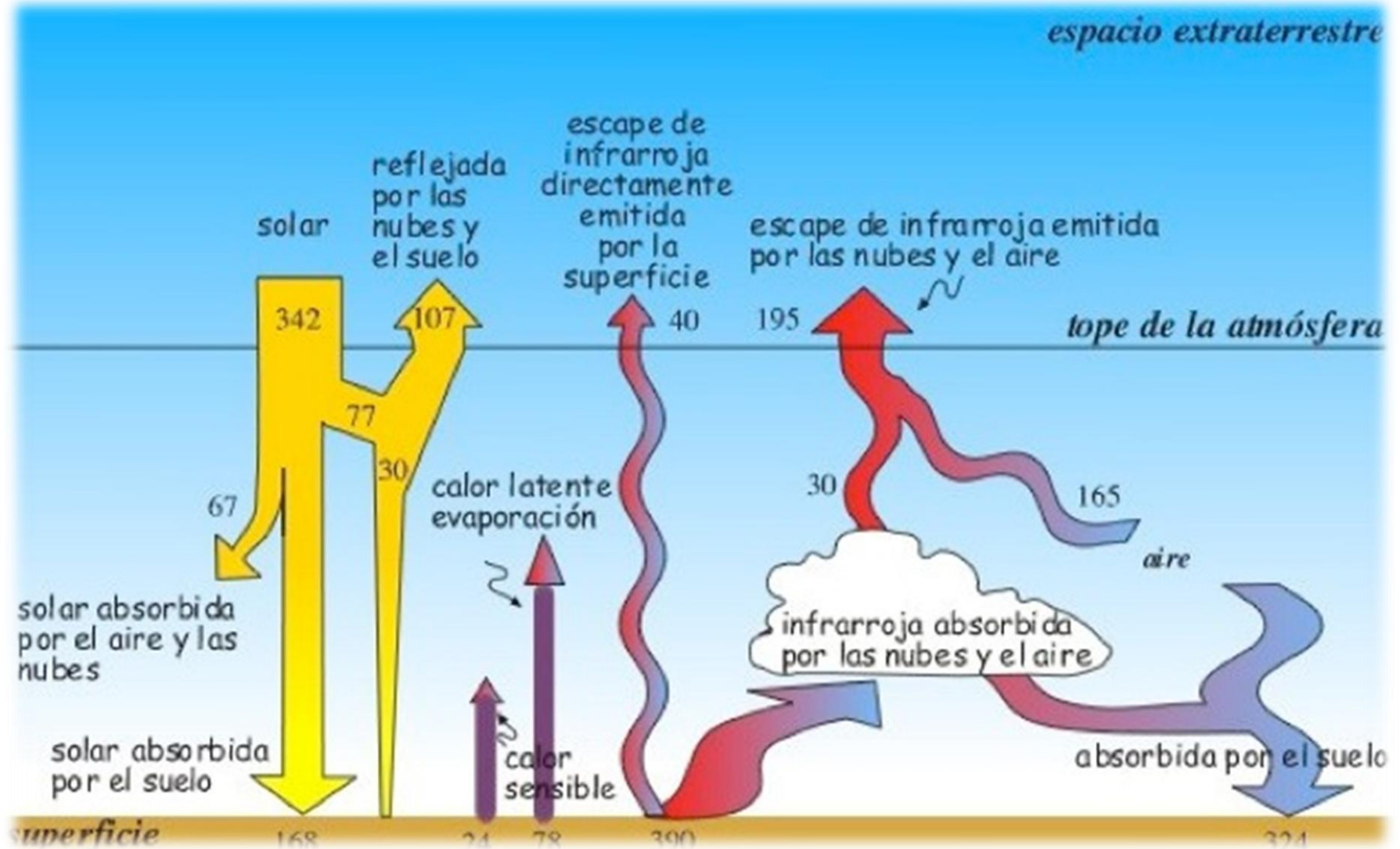


Sistema Climático

- La clave para entender el cambio climático es primero entender:
¿Qué es el clima global y cómo opera?
- En una escala planetaria el clima global es regulado por cuanta cantidad de energía recibe del Sol.
- El clima también es afectado por otros flujos de energía los cuales tienen lugar el Sistema Climático de la Tierra.
- El sistema global está conformado por:
 - la atmósfera
 - los océanos 70% de la superficie de la Tierra - almacena grandes cantidades de calor - regula la T.
 - las capas de hielo (criosfera) 3% - Mayor aporte de agua dulce - índice de reflexión alto - papel importante en la regulación del clima.
 - los organismos vivos (biosfera) y
 - los suelos, los sedimentos y las rocas (geosfera)
 - Todos ellos afectan, en mayor o menor medida el movimiento de calor alrededor de la Tierra.

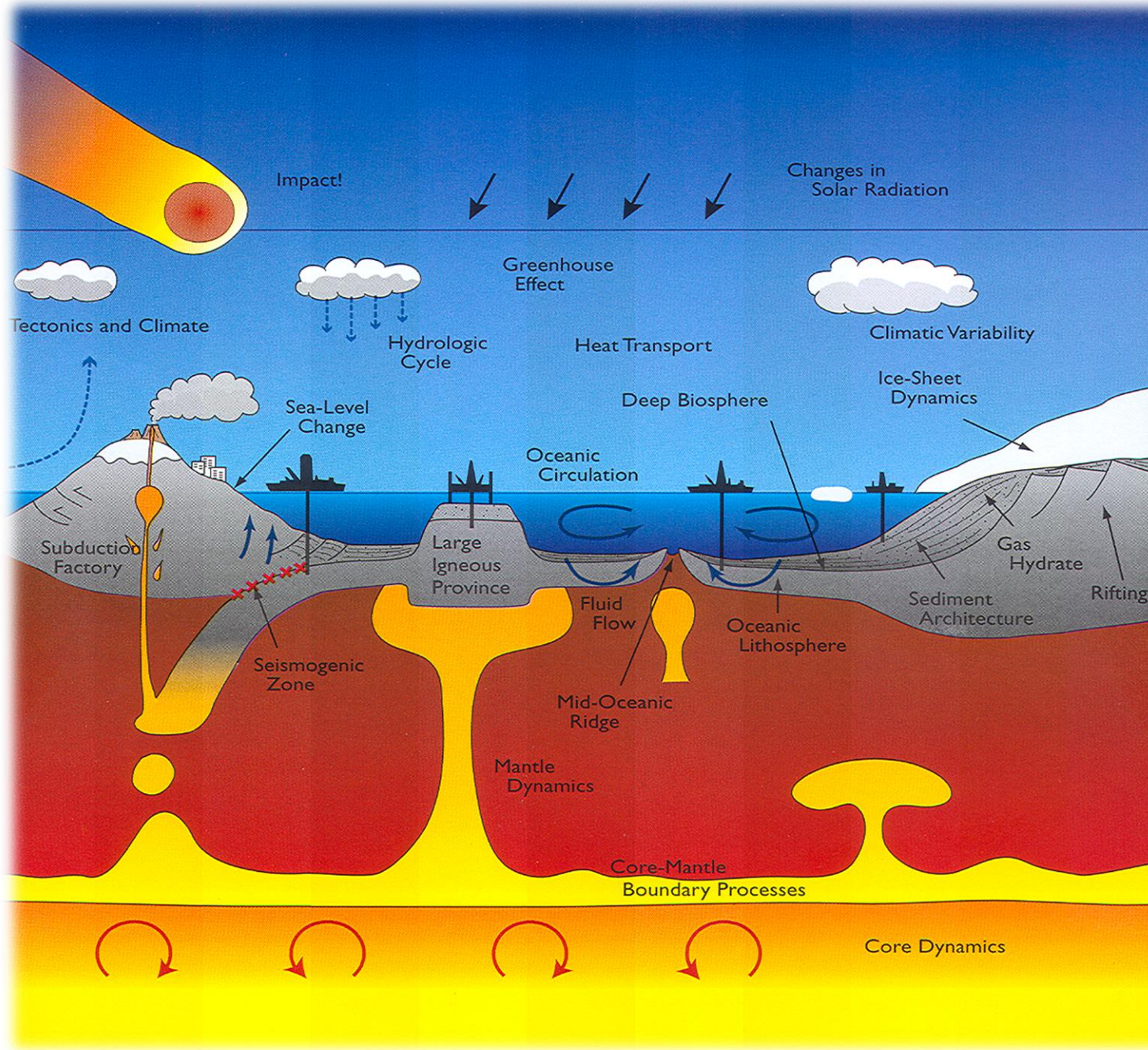


Balance de Energía



Causas del Cambio Climático

- Externos
- Internos
- Los procesos externos operan fuera del planeta Tierra:
 - cambios en el balance global de energía y son debidos a las variación de la órbita de la Tierra alrededor del sol y,
 - cambios en la cantidad de energía recibida desde el sol.
- Los proceso internos operan desde la Tierra dentro del sistema climático de la Tierra
 - cambios en el balance de energía global debido a los cambios en la circulación oceánica,
 - cambios en la composición atmosférica.
- Otros procesos de forzamiento
 - impactos,
 - Grande erupciones volcánicas
 - colisiones con cometas y meteoritos. (no muy frecuentes- 20 a 30 millones de años – cambios climáticos en la Historia de la Tierra).



Space

Atmosphere

Ice
Ocean Crust

Mantle

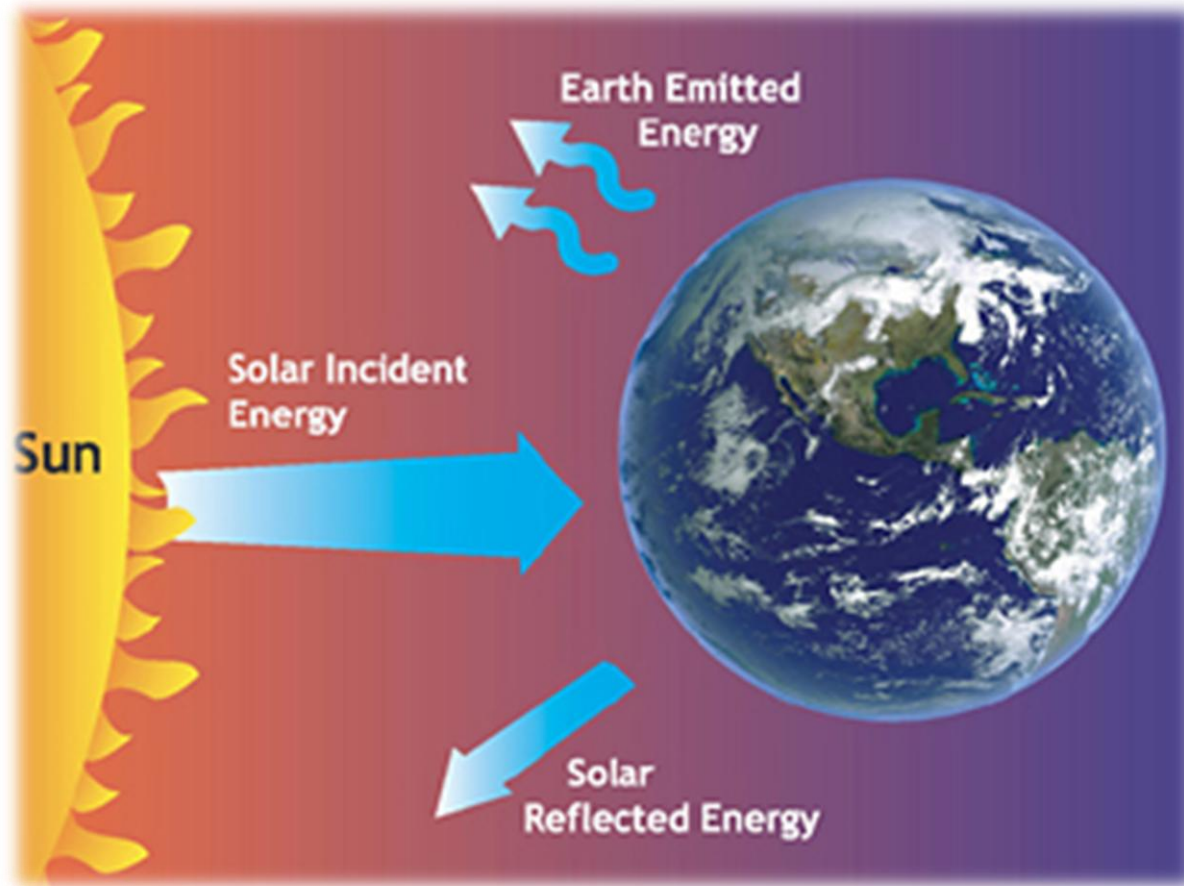
Core

Forzamiento climático

- El clima de la Tierra cambia cuando la cantidad de energía almacenada por el Sistema Climático varía. Los cambios más significativos ocurren cuando el balance energético global entre la energía entrante del Sol y el calor saliente de la Tierra es alterado.
- Hay un número de mecanismos que pueden alterar este balance, como son las fluctuaciones en la Órbita de la Tierra, variaciones en la circulación oceánica y cambios en la composición de la atmósfera de la Tierra.
- En la actualidad, la atmósfera ha sido alterada como una consecuencia de procesos no naturales que el hombre ha producido, a través de las emisiones de los gases invernadero.
- La alteración del balance de energía global, es debido a los mecanismos que fuerzan a cambiar el clima, por eso a estos mecanismos se les conoce como “Mecanismos de Forzamiento Climático” (*“climate forcing” mechanisms*).

Mecanismos naturales

Cambio en la radiación solar

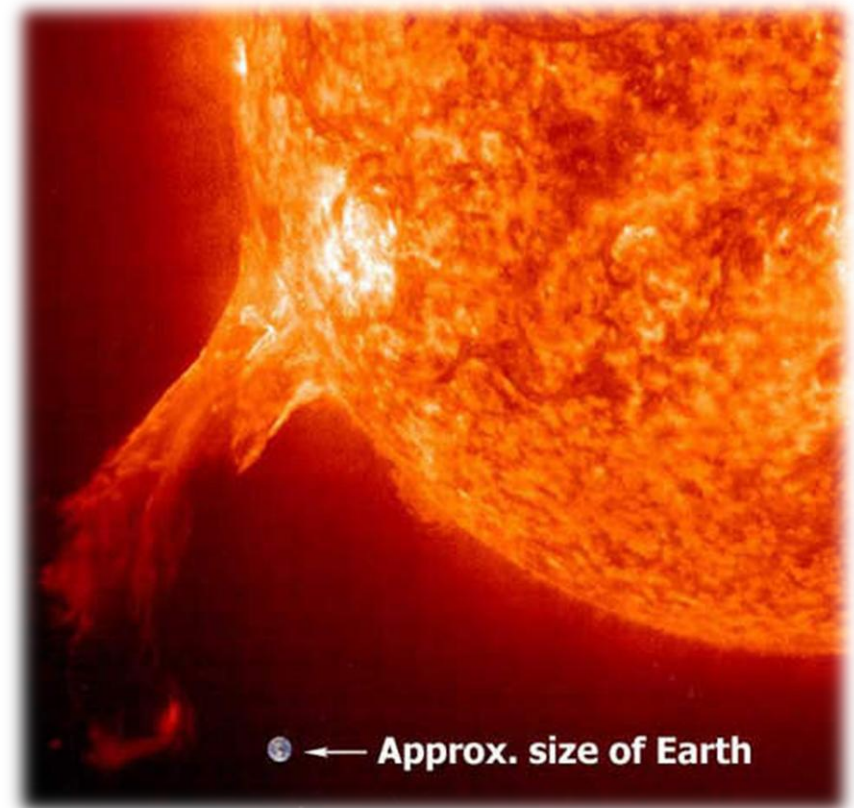
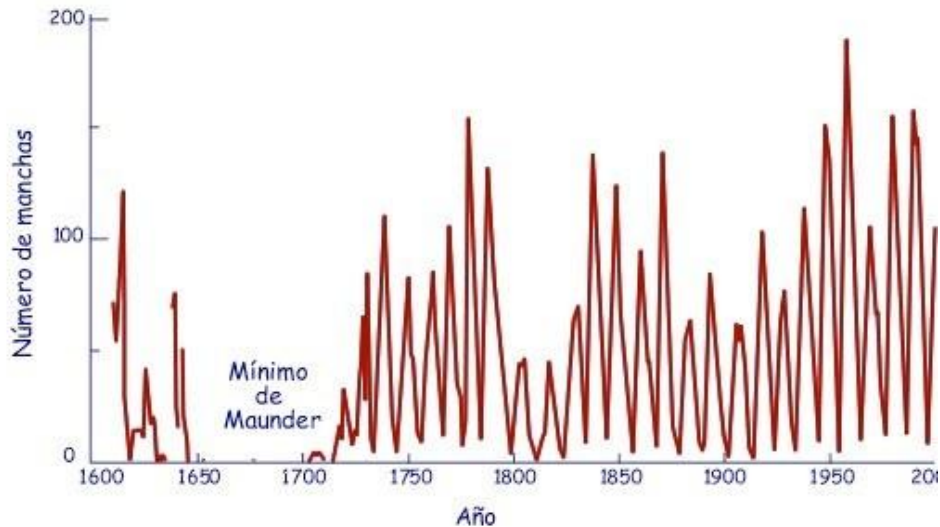


Kinich Ahau



Control del Clima – El Sol

- El Sol es el principal control del clima de la Tierra – Es considerado el motor del sistema climático.
- A lo largo de la historia de la Tierra la radiación solar ha cambiado.

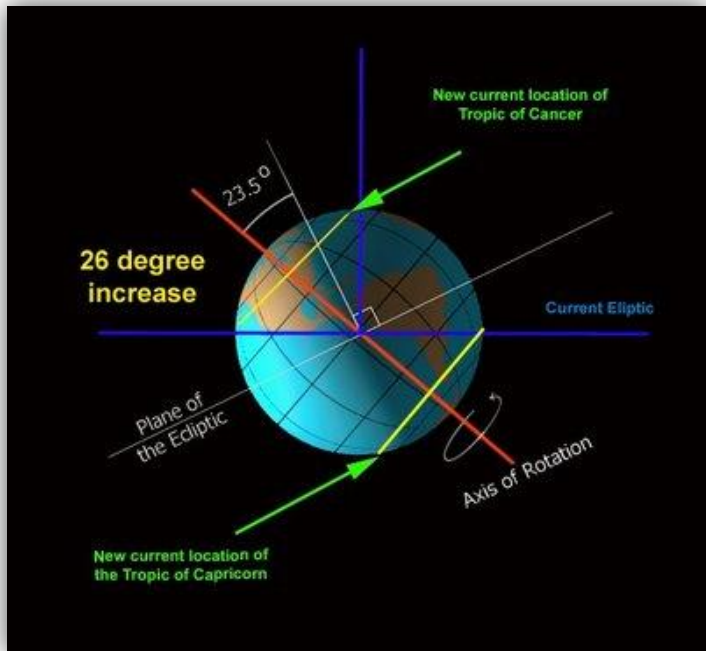




Excentricidad

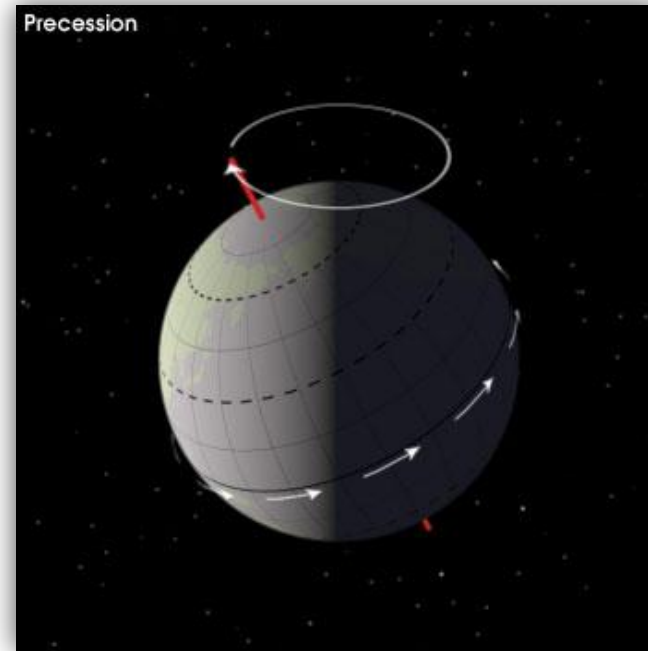
Forma de la órbita alrededor del sol

Oblicuidad



Cambio del ángulo del eje de rotación

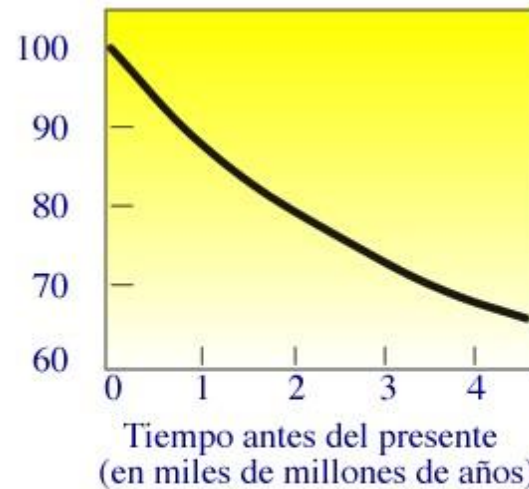
Precesión



Cambio en la orientación del eje rotacional

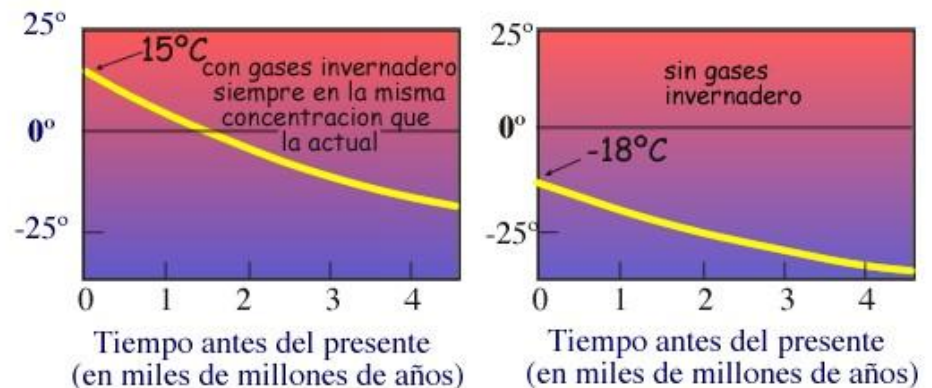
(Evolución teórica de la temperatura de la Tierra según la luminosidad solar y la existencia o no de gases invernadero)

La luminosidad del Sol ha ido en aumento, debido a la creación y combustión de helio en su interior. A lo largo de los Eones ha ido aumentando significativamente la energía solar recibida en la Tierra.



Luminosidad del Sol con respecto al presente (en %)

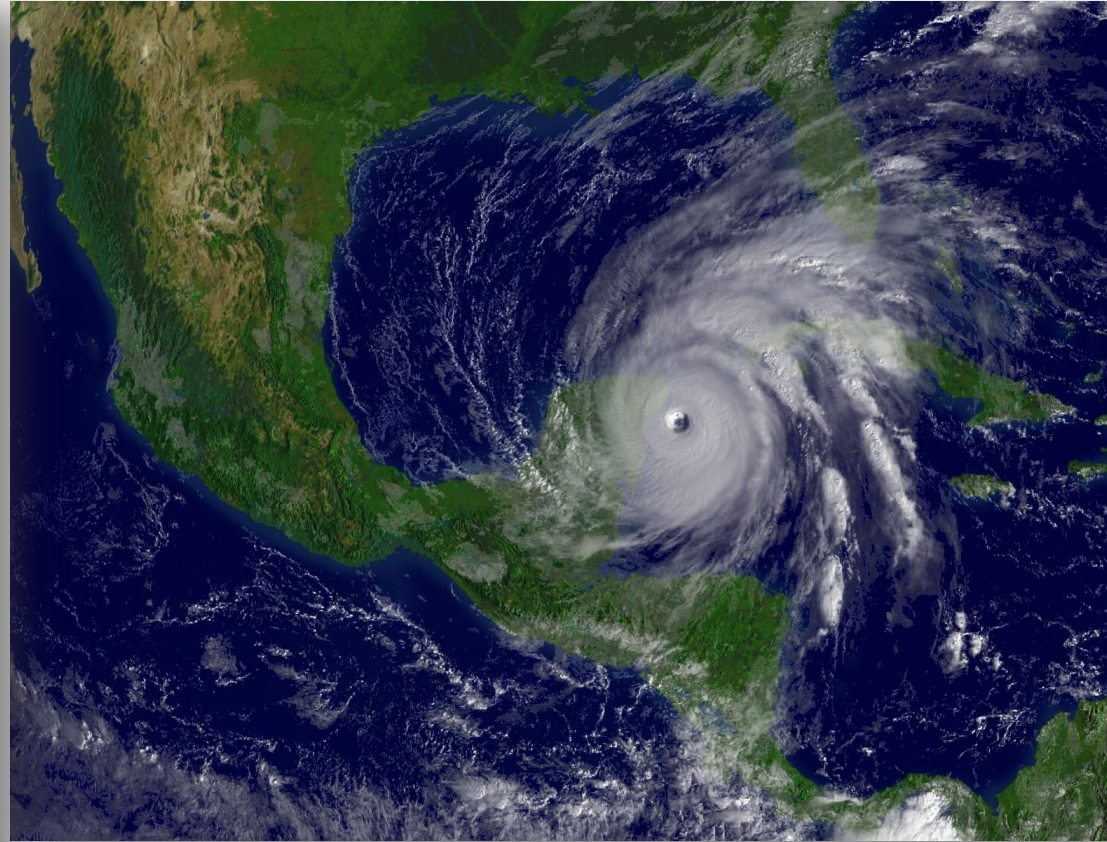
Junto con el incremento de la energía solar recibida, los gases invernadero de la atmósfera terrestre, como el vapor de agua, el CO₂ y el CH₄, han modulado la temperatura media y han permitido que la Tierra no haya permanecido siempre congelada.



Temperatura media de la Tierra (°C)

Variabilidad del sistema océano-atmósfera

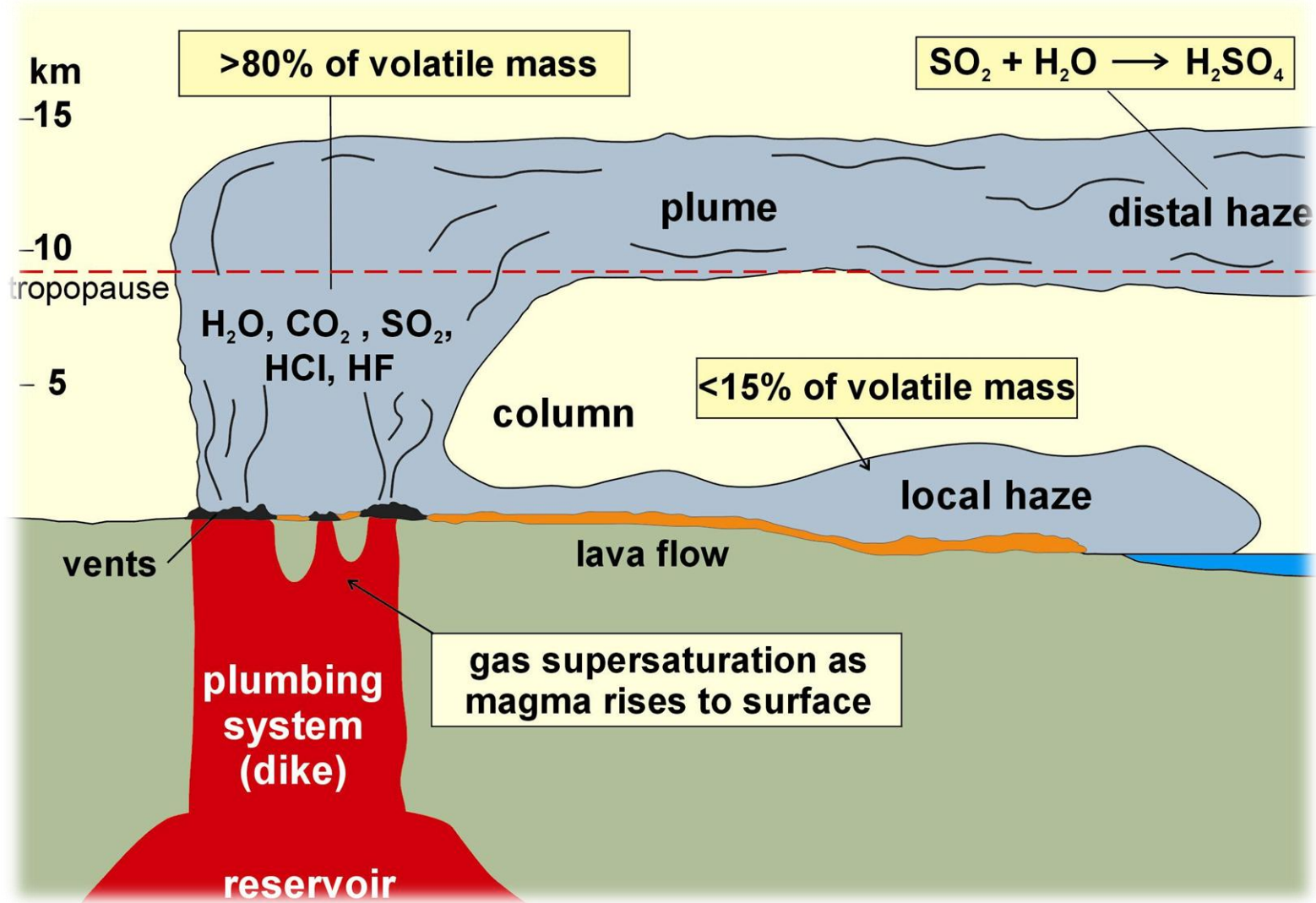
Huracán Wilma 2005



El huracán más intenso registrado en el Atlántico con vientos de 175 millas por hora

Cambio en la actividad volcánica (cambio en la cantidad de polvo en la atmósfera).





Erupción del Laki afectó tanto la troposfera como la estratosfera

Thordarson & Self (2003)
Robock, 2005

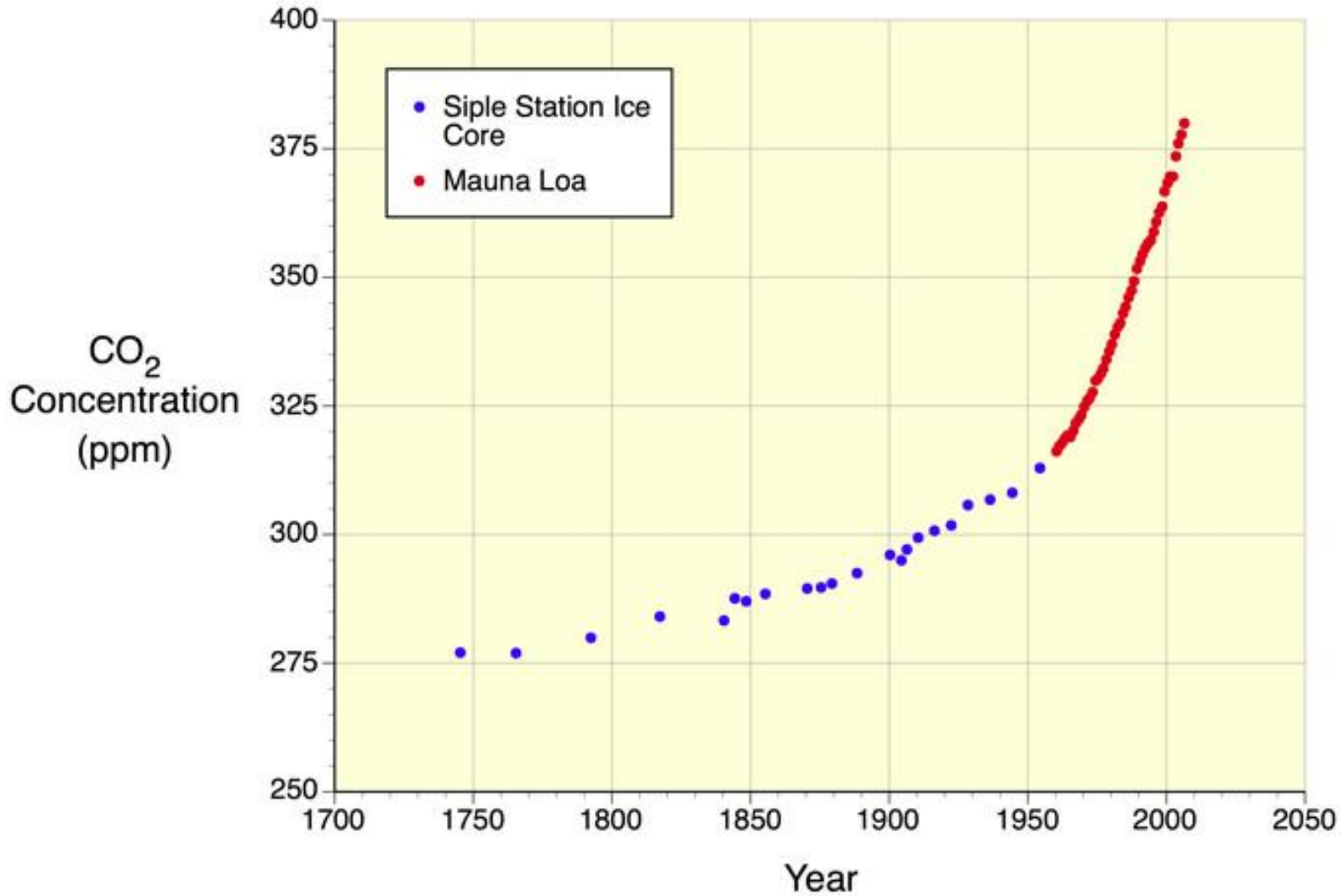
Impactos



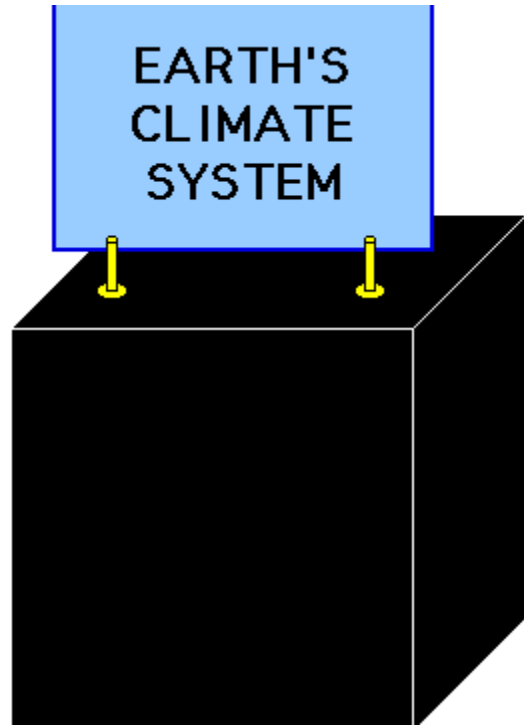
Mecanismos no naturales

- Cambio en la concentración de gases de efecto invernadero.
- Cambios en las partículas de aerosol provenientes de la quema de combustibles fósiles y biomasa.
- Cambios en la reflectividad (albedo) de la superficie de la Tierra.

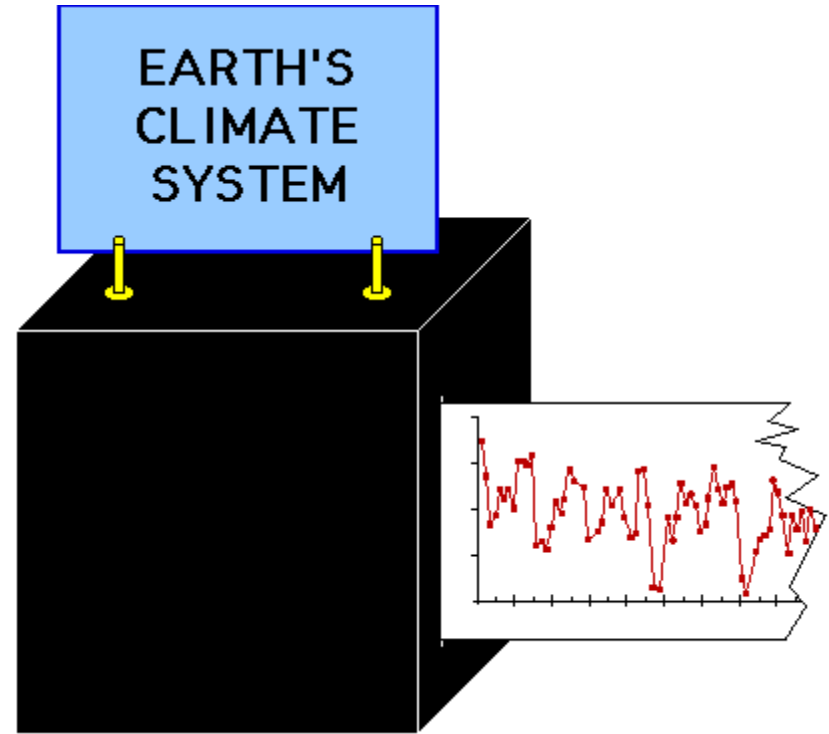
Atmospheric Concentration of Carbon Dioxide (1744-2005)



- Desde una perspectiva humana, el cambio climático es una desviación del tiempo meteorológico promedio esperado o de las condiciones climáticas normales (temperatura y precipitación) para un lugar y época del año dados.
- Desde la perspectiva paleoclimática, el cambio climático es normal y forma parte de la variabilidad natural del planeta relacionada con las interacciones entre atmósfera, océano y tierra, al igual que con cambios en la cantidad de radiación solar que alcanza a la Tierra. El registro geológico incluye una plétora de evidencia sobre cambios climáticos en gran escala.



*El Sistema del clima
como una caja negra*



*La caja negra del sistema
del clima produce algunos
registros*

Registros del Clima

- Estaciones Meteorológicas
- Instrumentos electrónicos (sensores)
- Boyas especiales
- Satélites
- Corales
- Anillos de crecimiento de árboles
- Núcleos de Hielo
- Sedimentos marinos y lacustres

Estaciones meteorológicas

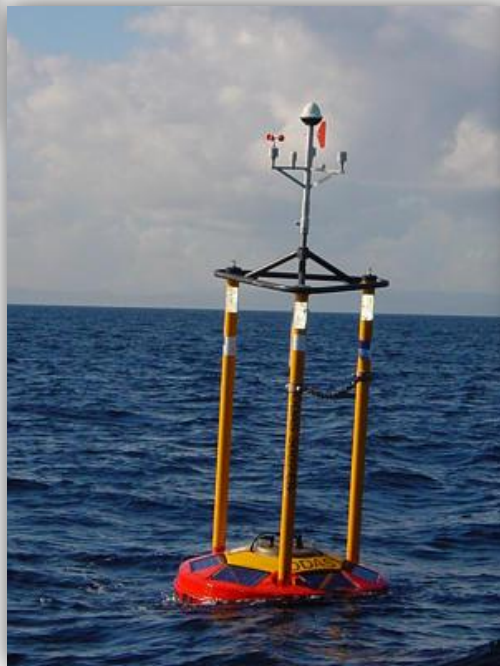


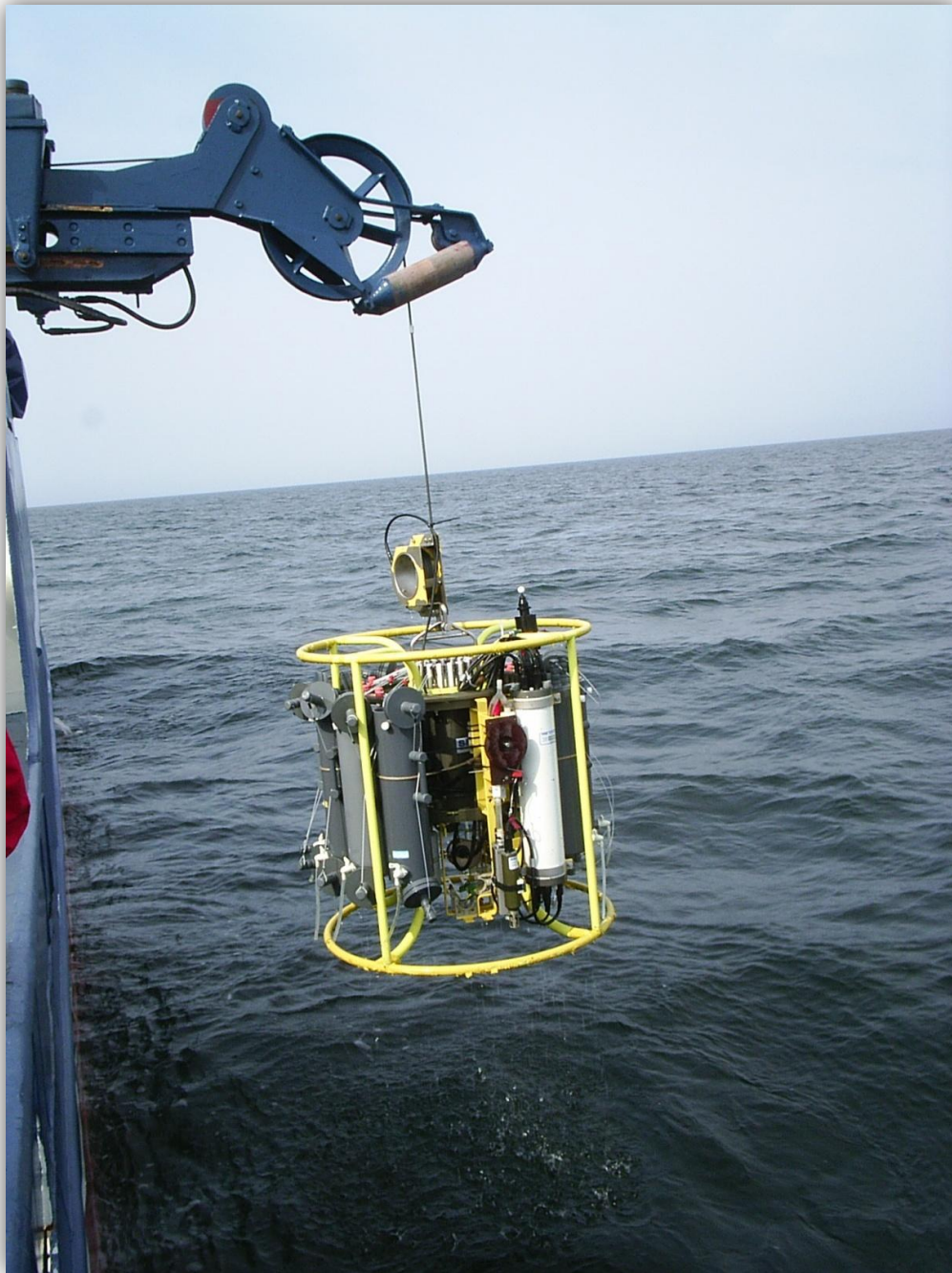
- Intensidad de la lluvia y acumulada.
- Dirección del viento.
- Velocidad del viento.
- Temperatura del aire.
- Humedad relativa del aire.
- Radiación solar absoluta.
- Radiación Neta.

Boyas



- Dirección y velocidad de las corrientes.
- Mares
- Oleaje
- Dirección y velocidad del viento

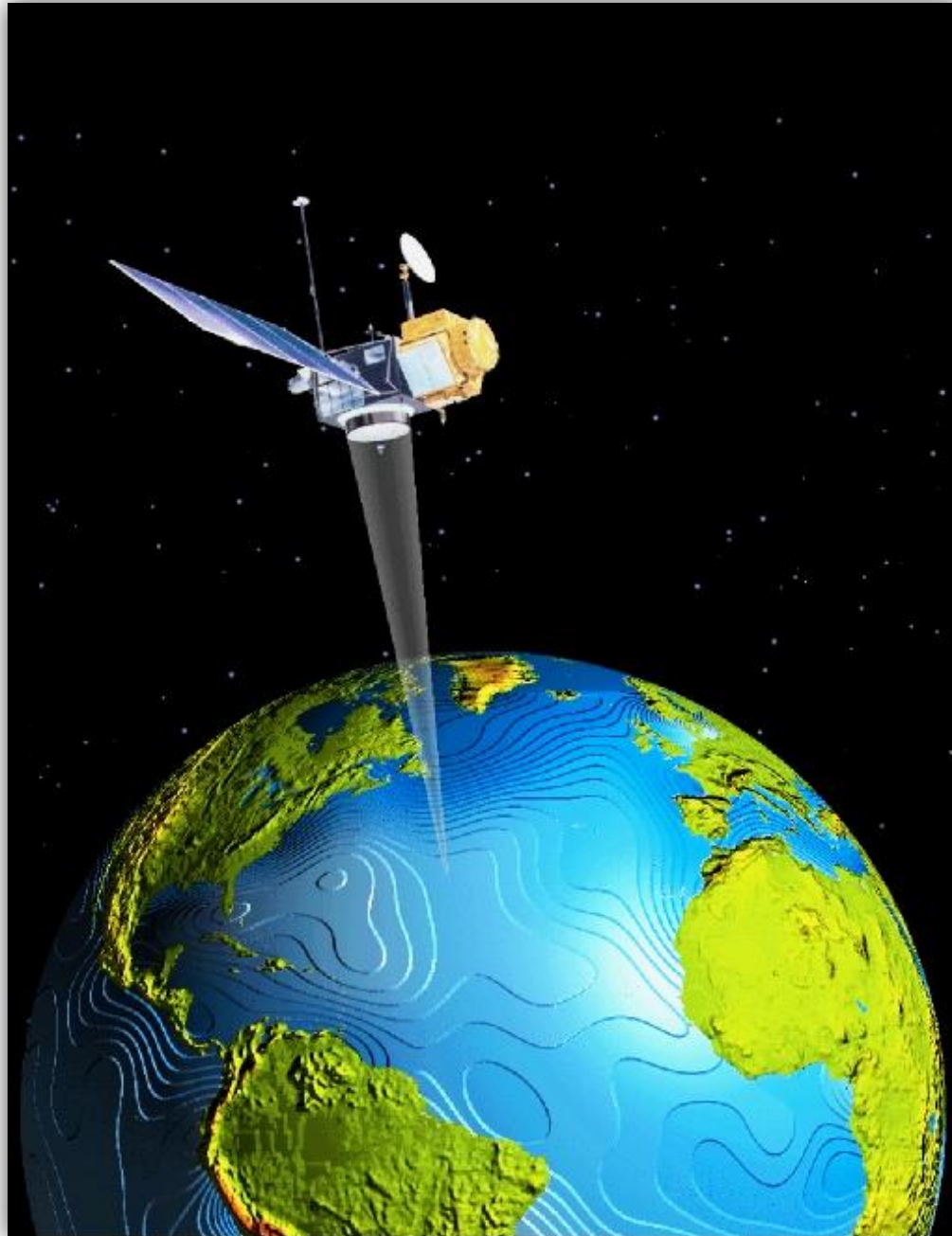




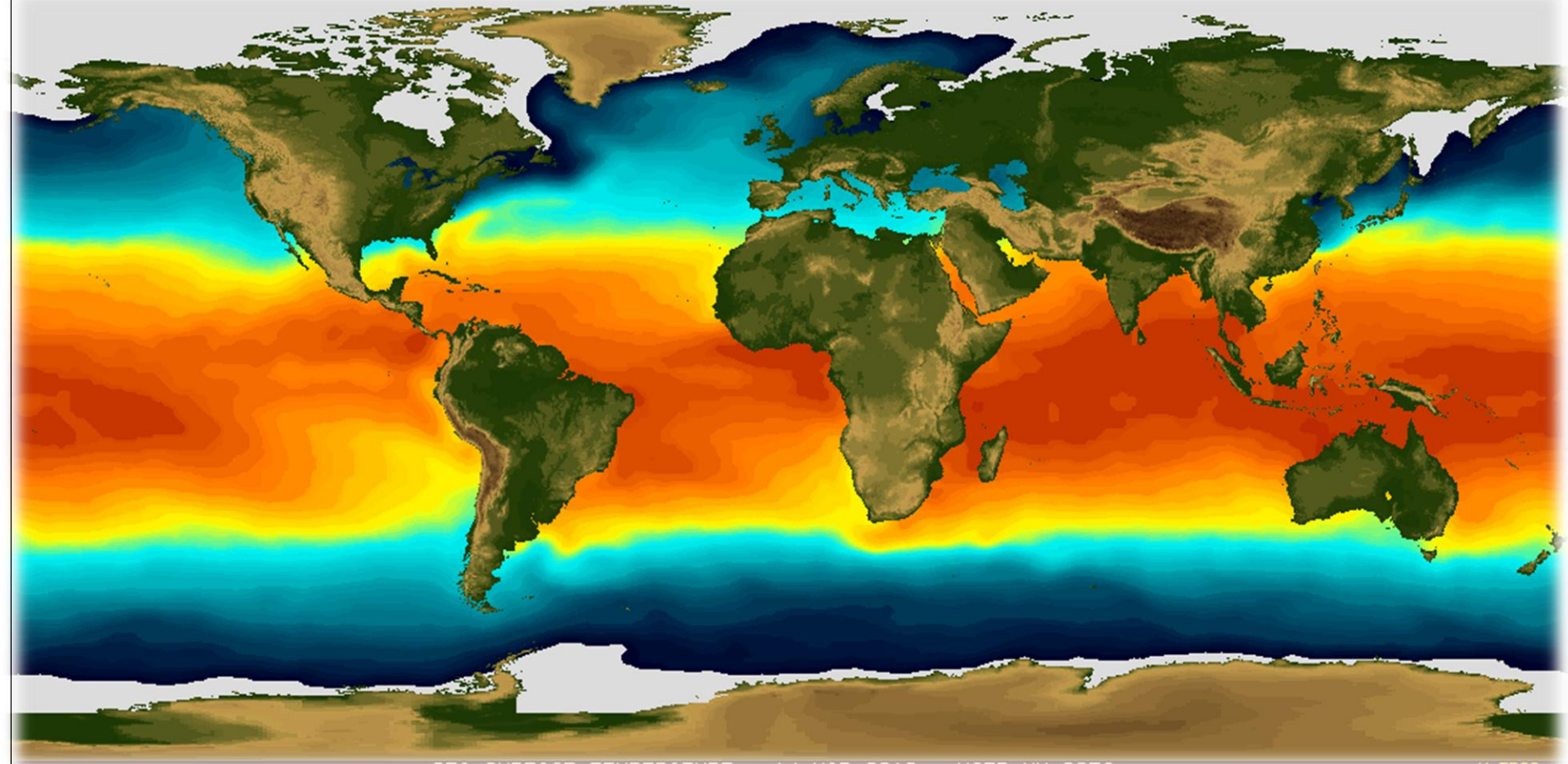
Sensores:

- Temperatura
- Salinidad
- Profundidad
- Oxígeno
- Nutrientes

Satélites



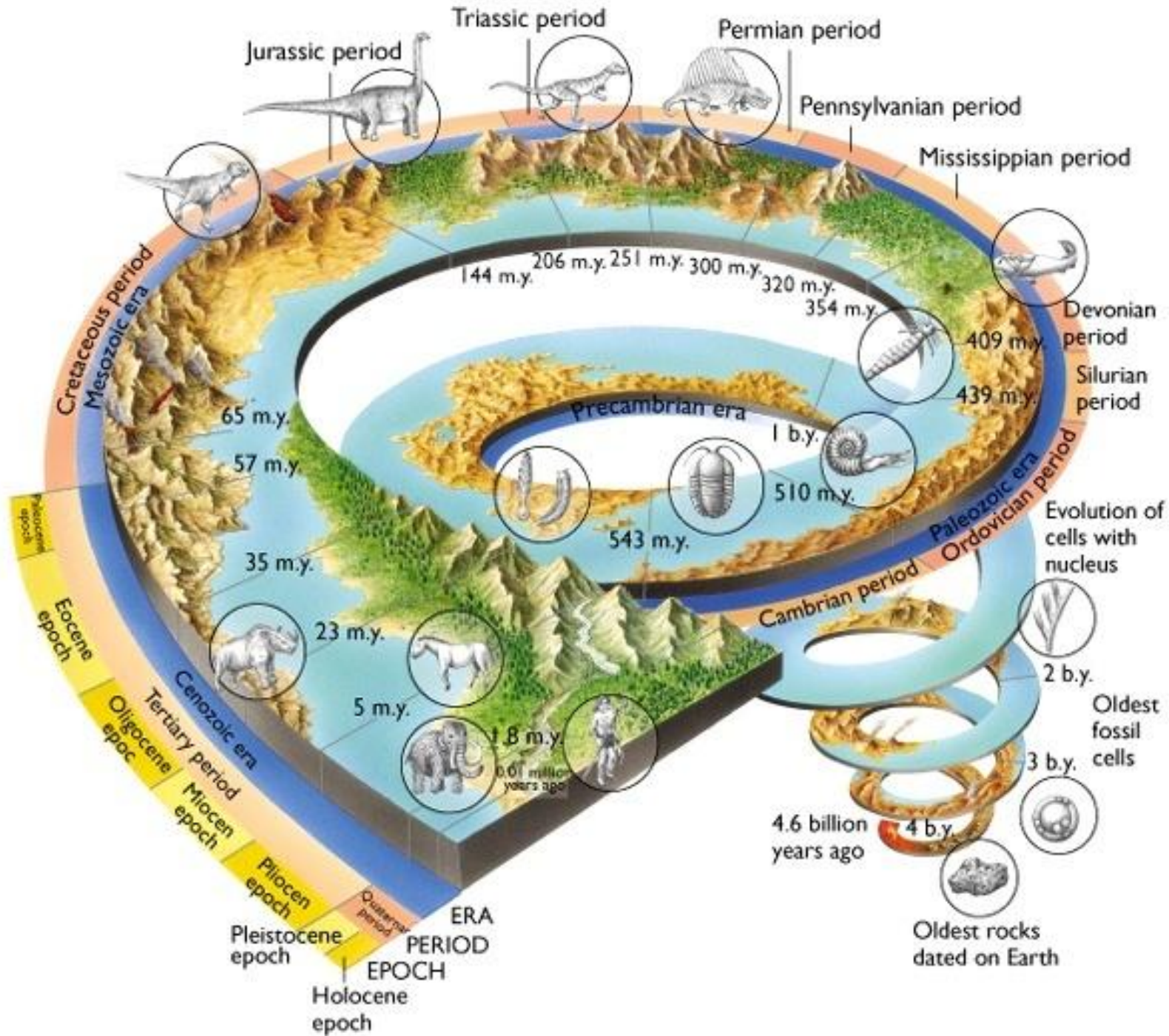
Temperatura Superficial del Mar

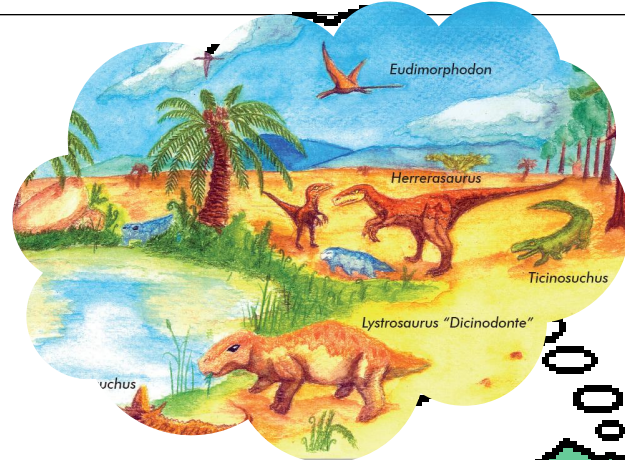


SEA SURFACE TEMPERATURE - 14 MAR 2019 - NCEP JUI-SSEC

14/03/19

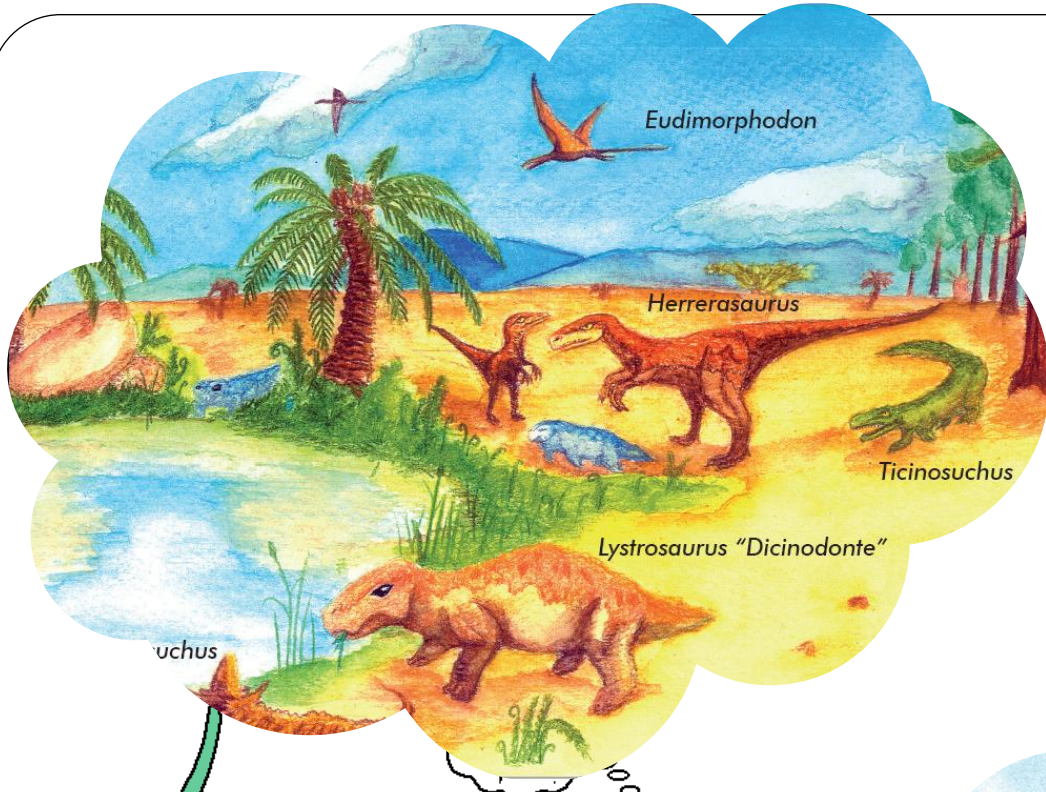
El registro instrumental del “tiempo”, se extiende en el pasado hasta el siglo XIX incluye los datos de termómetros, pluviómetros, documentos históricos y otros instrumentos. Sin embargo, este registro es demasiado corto para estudiar los numerosos procesos climáticos.





La Paleoclimatología es el estudio del clima antes de que se dispusiera de registros instrumentales.

Los registros naturales se usan para estimar las condiciones climáticas del pasado y así poder extender nuestra comprensión de las mismas más allá del registro instrumental.

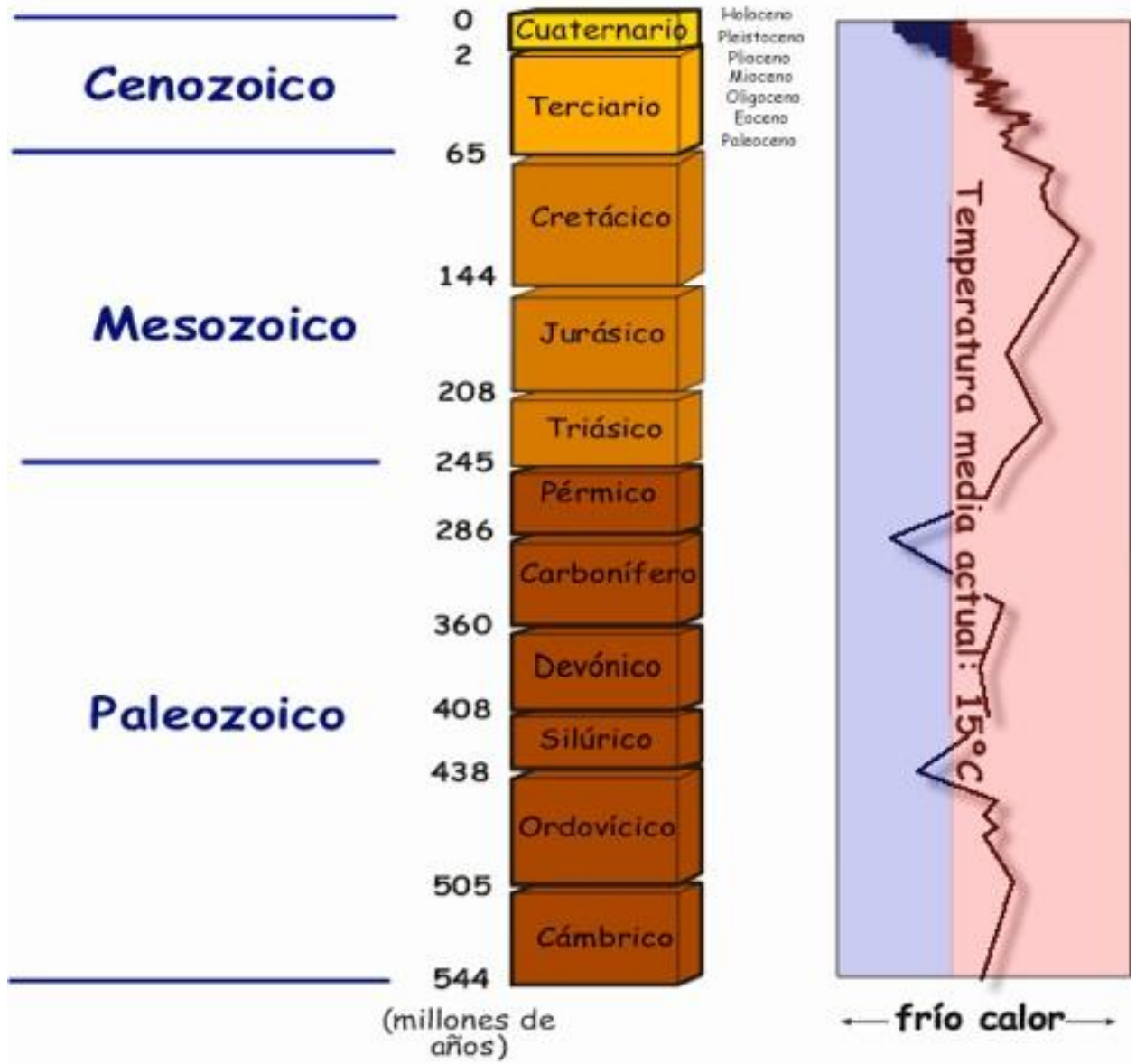


En el Cretácico, hace 110 millones de años el clima de la Tierra era cálido





En el Pleistoceno, (hace 110 mil años) hubo glaciaciones y el clima de la Tierra era frío



El clima gravado en una cinta natural

La comprensión de las tendencias del clima son vitales para entender la evolución del planeta Tierra. Para ello existen **registros** conservados en diversos archivos **naturales** de alta resolución.

Mediante el estudio de estos preciosos registros y utilizando diferentes indicadores (**proxies**) de los aspectos del clima, los científicos comprenden con mayor detalle cómo funciona el clima y cómo se ha comportado en el pasado. Sin embargo, estos registros son raros y valiosos y deben ser conservadas antes de que el desarrollo de la humanidad los destruya para siempre.

Registros naturales

Episódicos

Glaciares

Diferentes tipos de suelos

Niveles lacustres antiguos.

Cambio del nivel del mar

Contínuos

Alta resolución

Capas de hielo

Anillos de crecimiento de árboles

Corales

Sedimentos laminados lacutres o marinos

Varvas

Mediana resolución

Sedimentos marinos hemipelágicos en el margen continental de las cuencas

Baja resolución

Sedimentos de cuencas oceánicas

Registros Naturales del Clima

k'iin

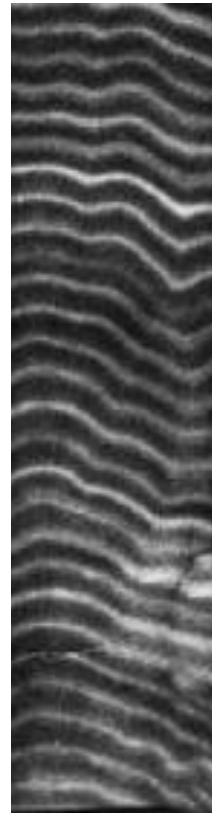
Sistema
Climático
de la Tierra



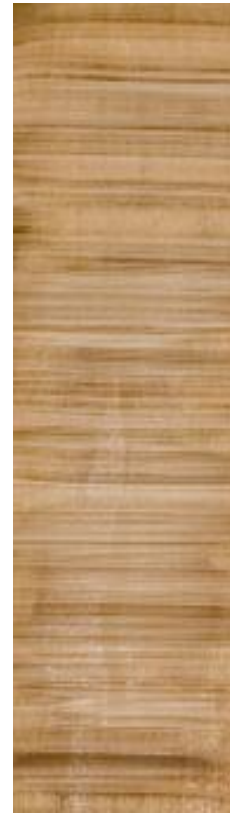
Núcleos
de Hielo



Anillos de
árboles



Bandas
de corales



Espeleotemas



Sedimentos
laminados
marinos y
lacustres

Proxy (Paleo-indicador)

- 1) Geoquímico
- 2) biológico o
- 3) físico

Paleo-sensores de:

- Circulación atmosférica y vientos
- Química atmosféricas
- Concentraciones de gases de efecto invernadero
- Temperaturas superficial del mar
- Temperatura de las aguas de fondo
- Salinidad
- Circulación Oceánica
- Nutrientes y productividad
- pH
- Glaciares
- icebergs

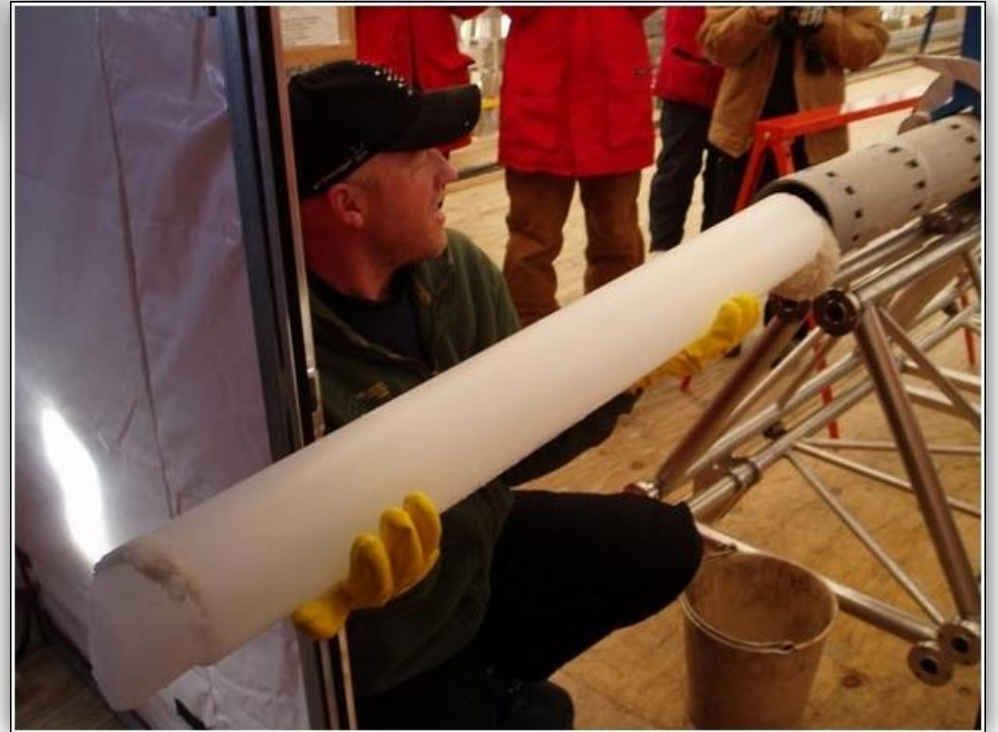
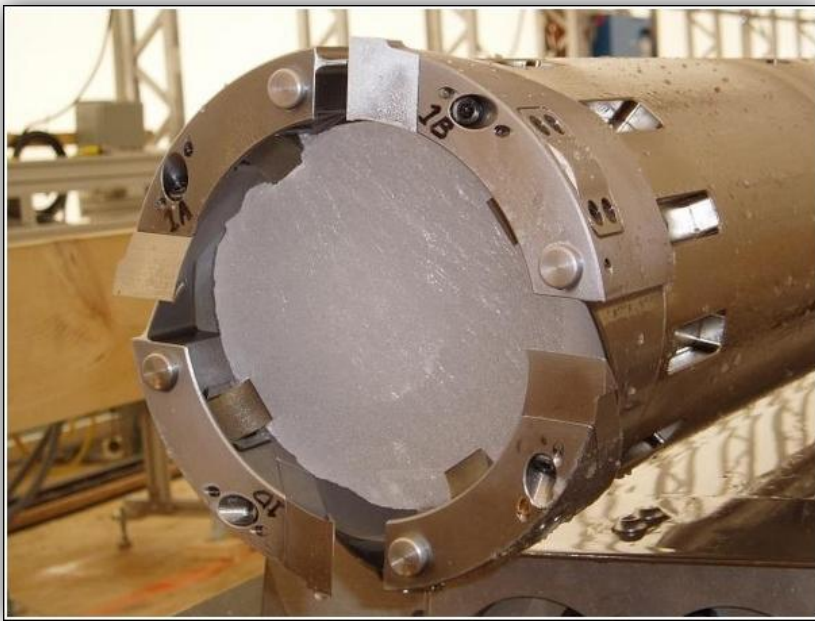
Registros en el Hielos polares



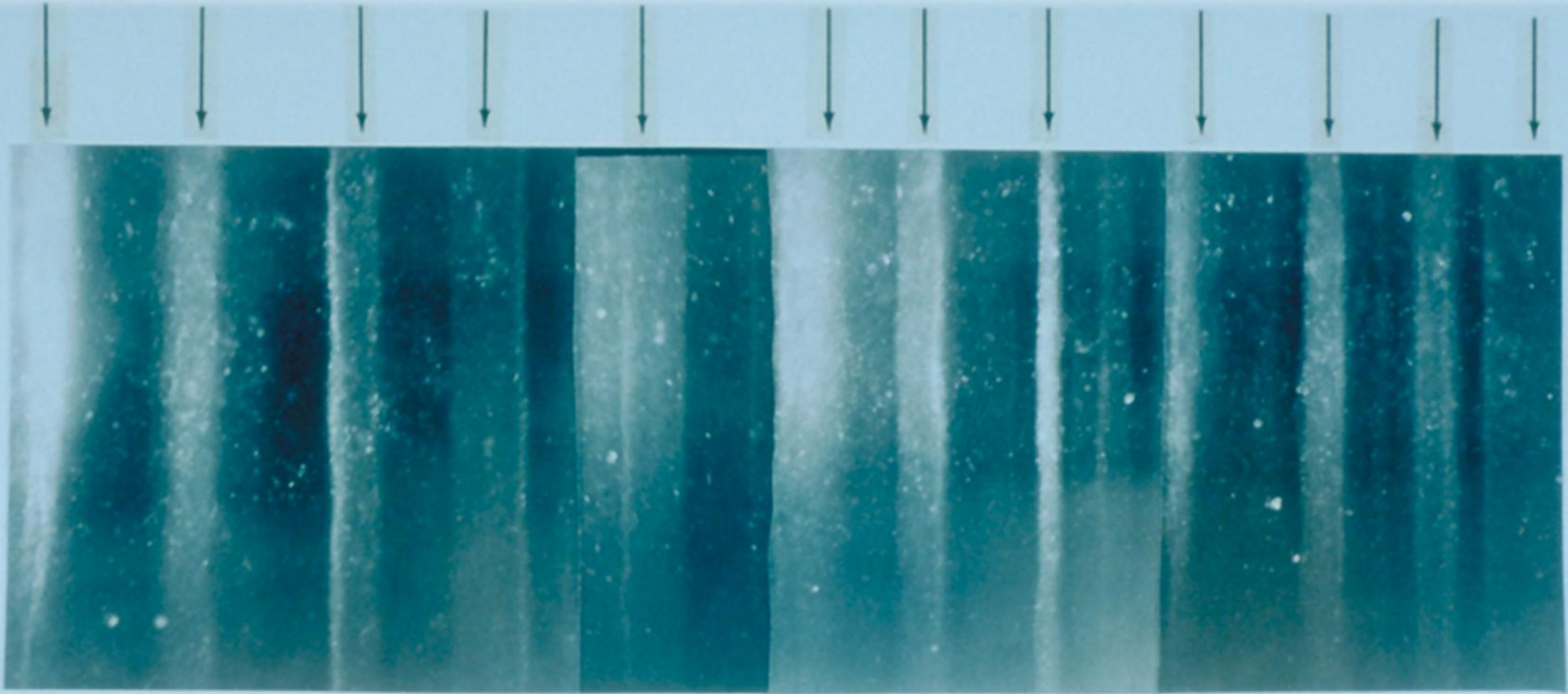
GISP2
Greenland Ice Sheet Project 2





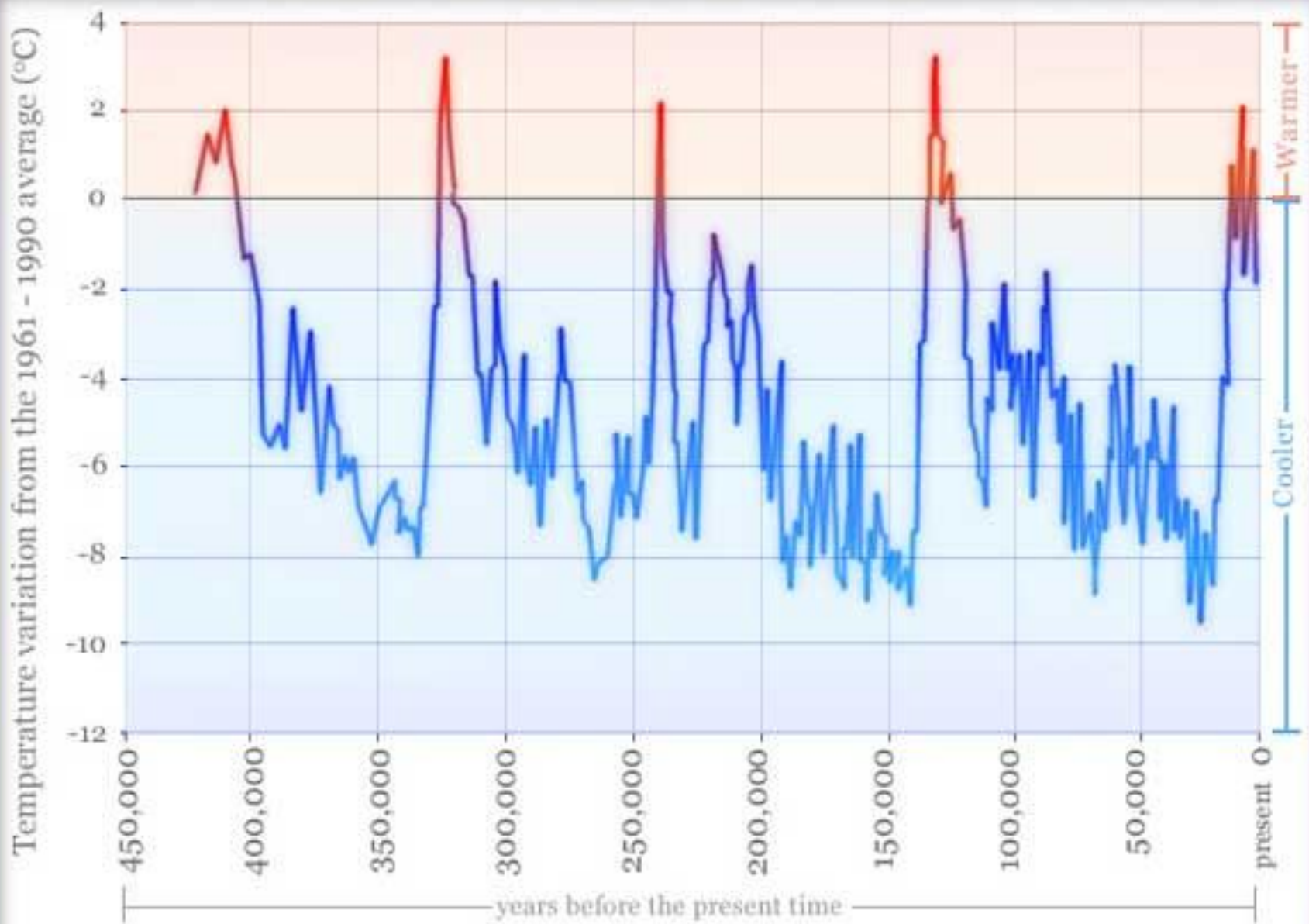


http://www.gisp2.sr.unh.edu/MoreInfo/Ice_Cores_Past.html

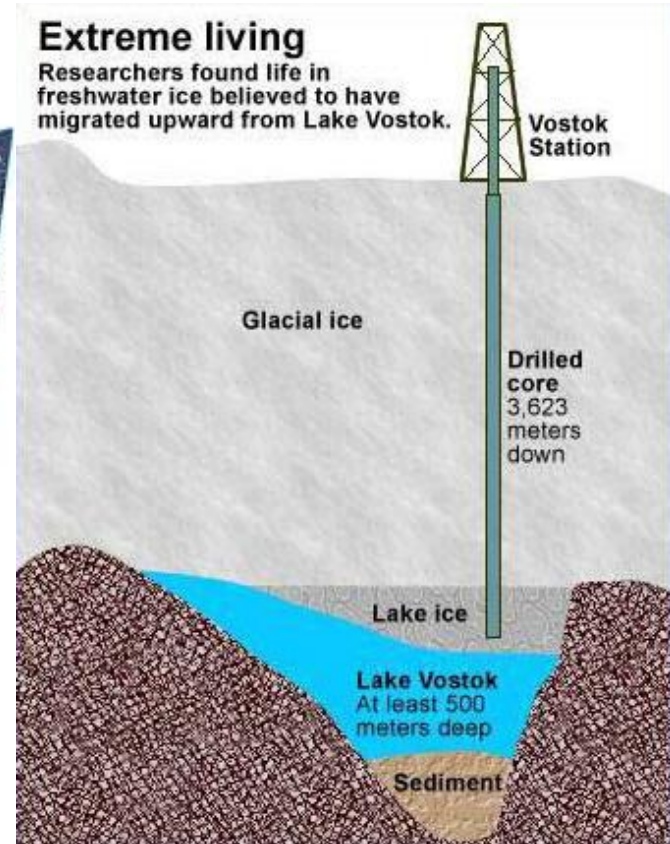
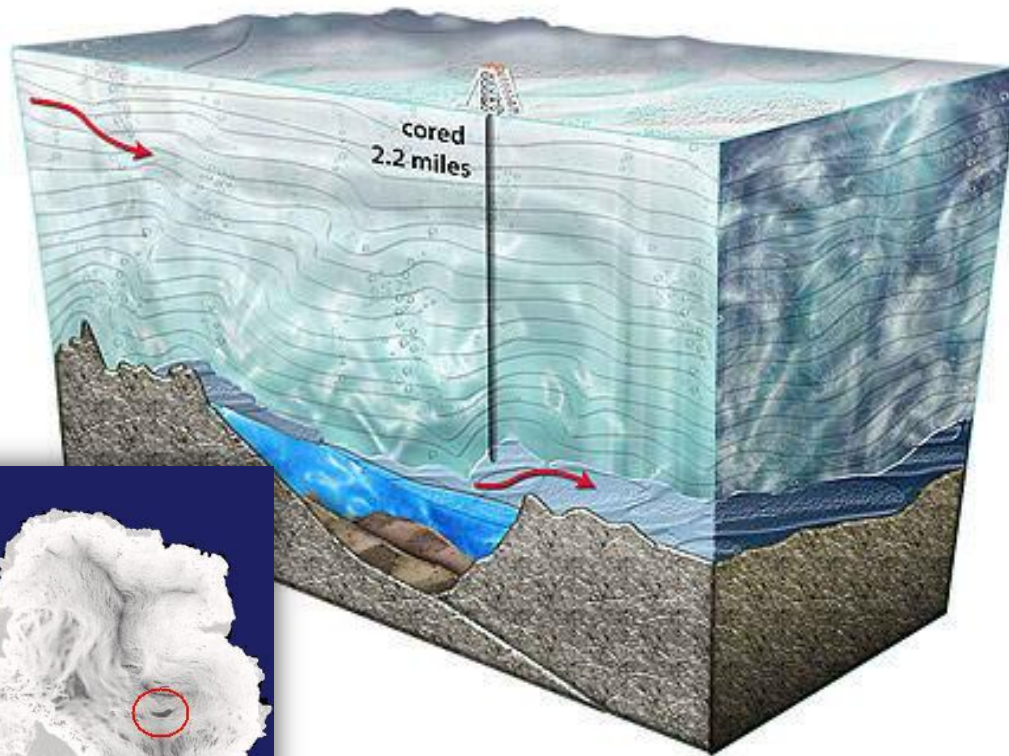


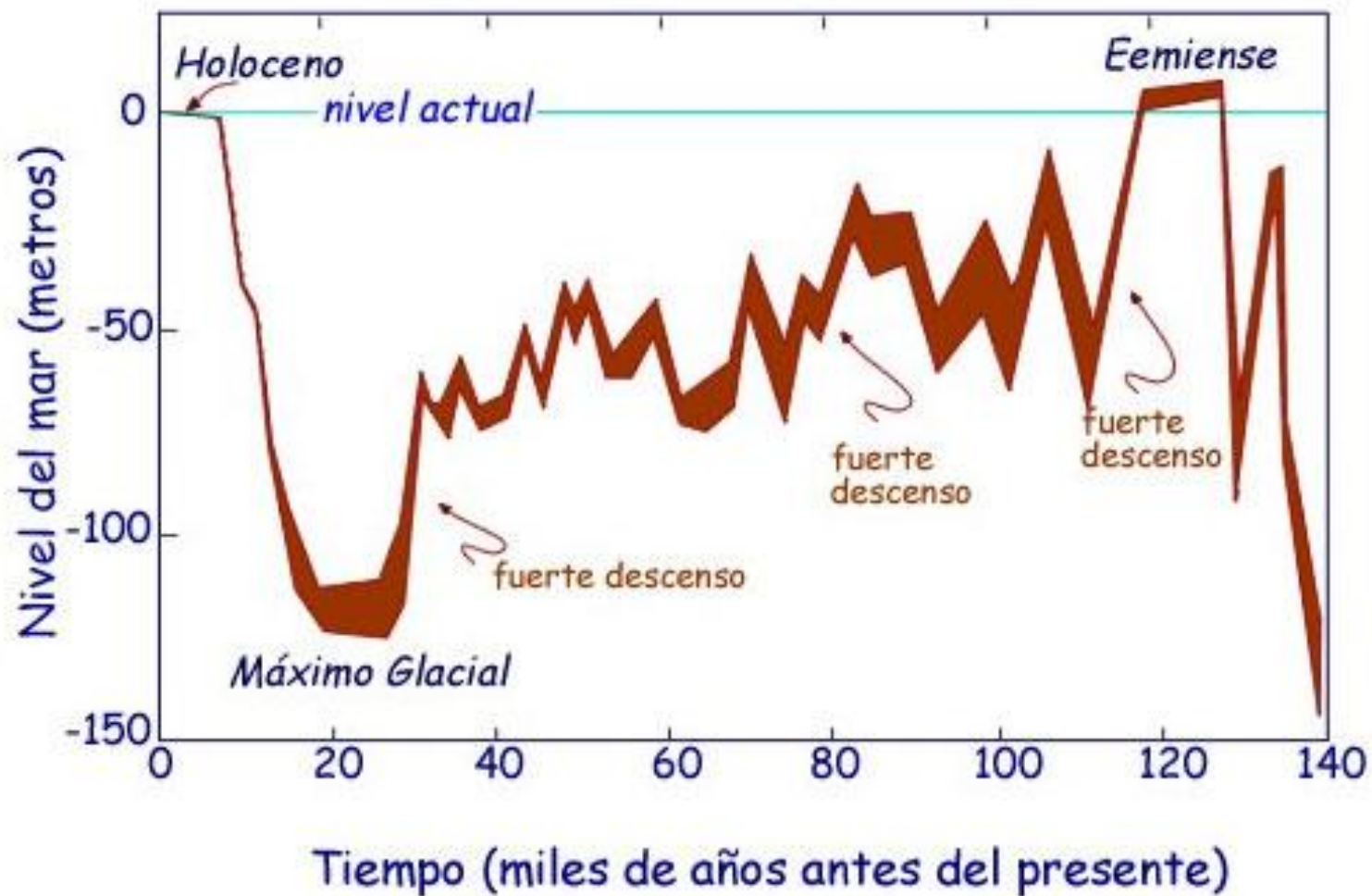
19 cm long section of GISP 2 ice core from 1855 m showing annual layer structure illuminated from below by a fiber optic source. Section contains 11 annual layers with summer layers (arrowed) sandwiched between darker winter layers.

Global Temperatures for the past 425,000 years

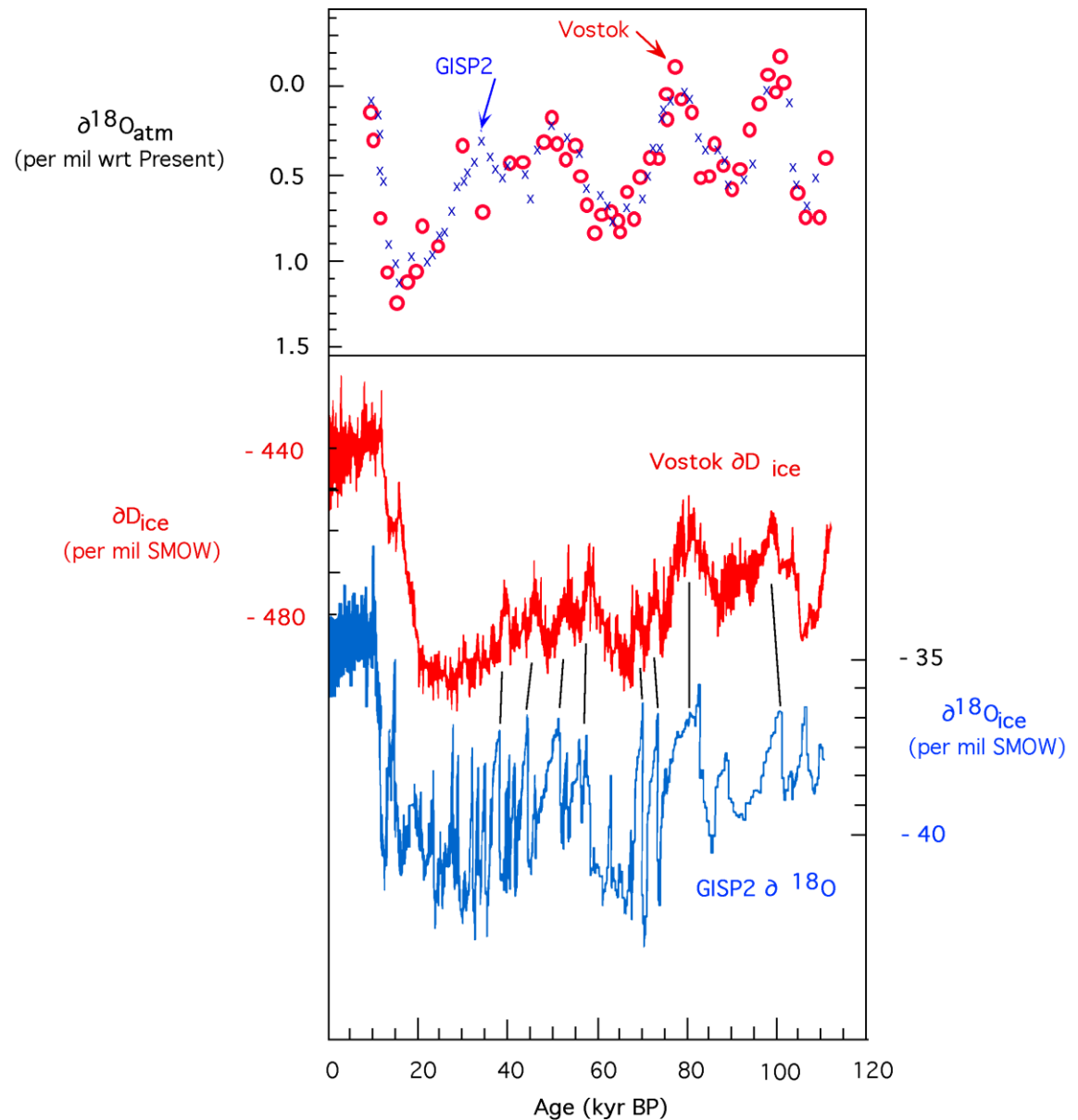


Lago Vostok (Polo Sur)





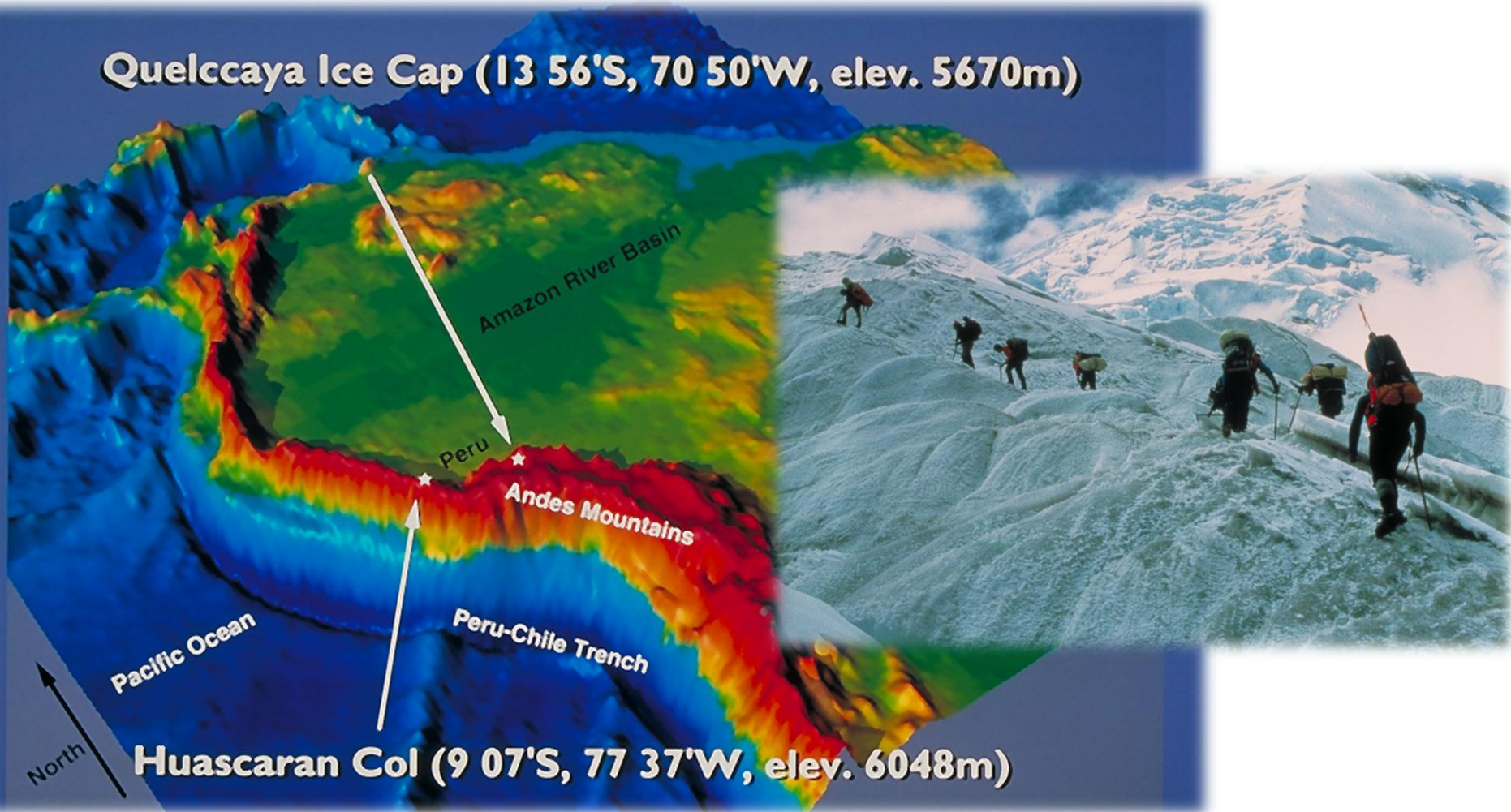
Comparación de registros del Lago Vostok y del GISP “



Hielo en latitudes bajas



Quelccaya Ice Cap (13 56'S, 70 50'W, elev. 5670m)



Huascaran Col (9 07'S, 77 37'W, elev. 6048m)



Visual Annual Layers in Core

Depth Below Surface

122 m



$\lambda = 9 \text{ cm}$

130 m



$\lambda = 6 \text{ cm}$

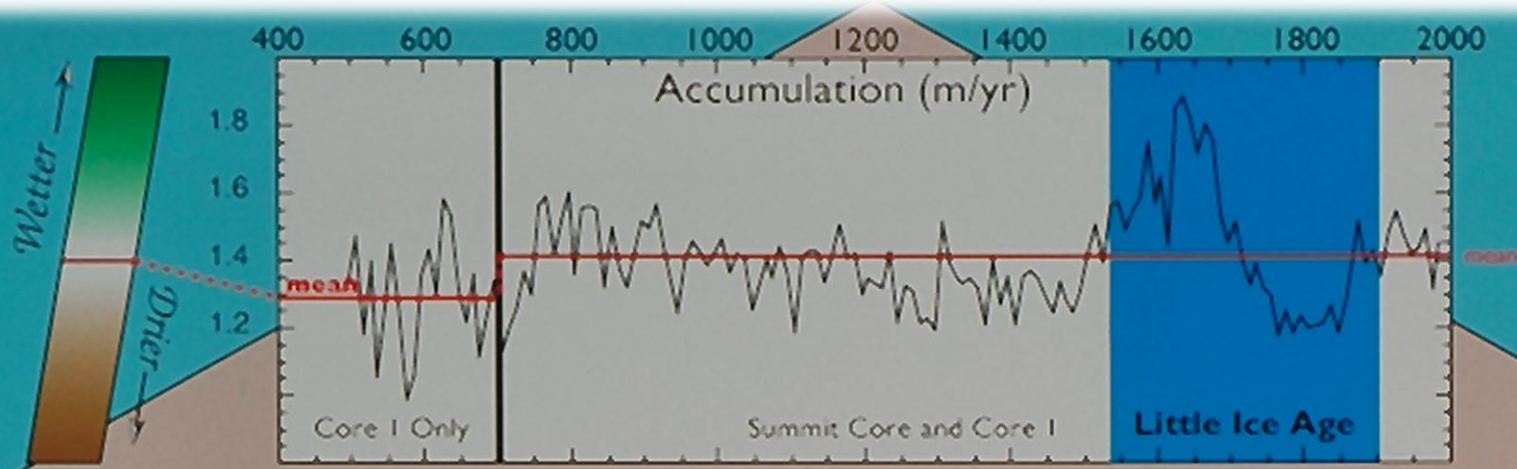
139 m



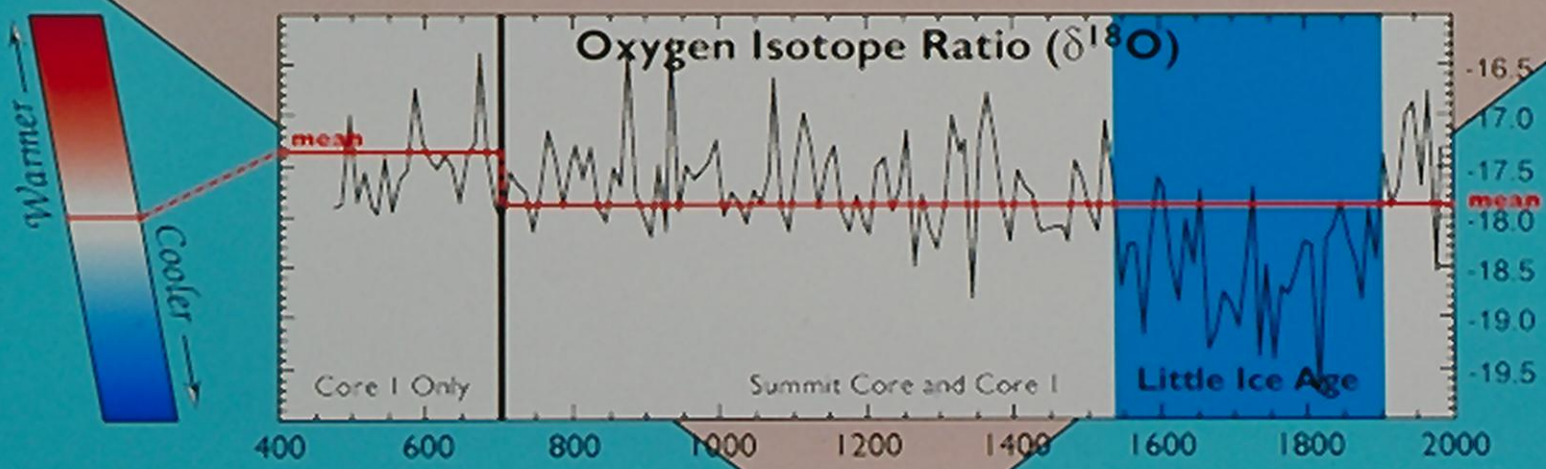
$\lambda = 4 \text{ cm}$

0 10 20 30

cm



The Little Ice Age at Quelccaya



Source: Thompson et al. (1988)

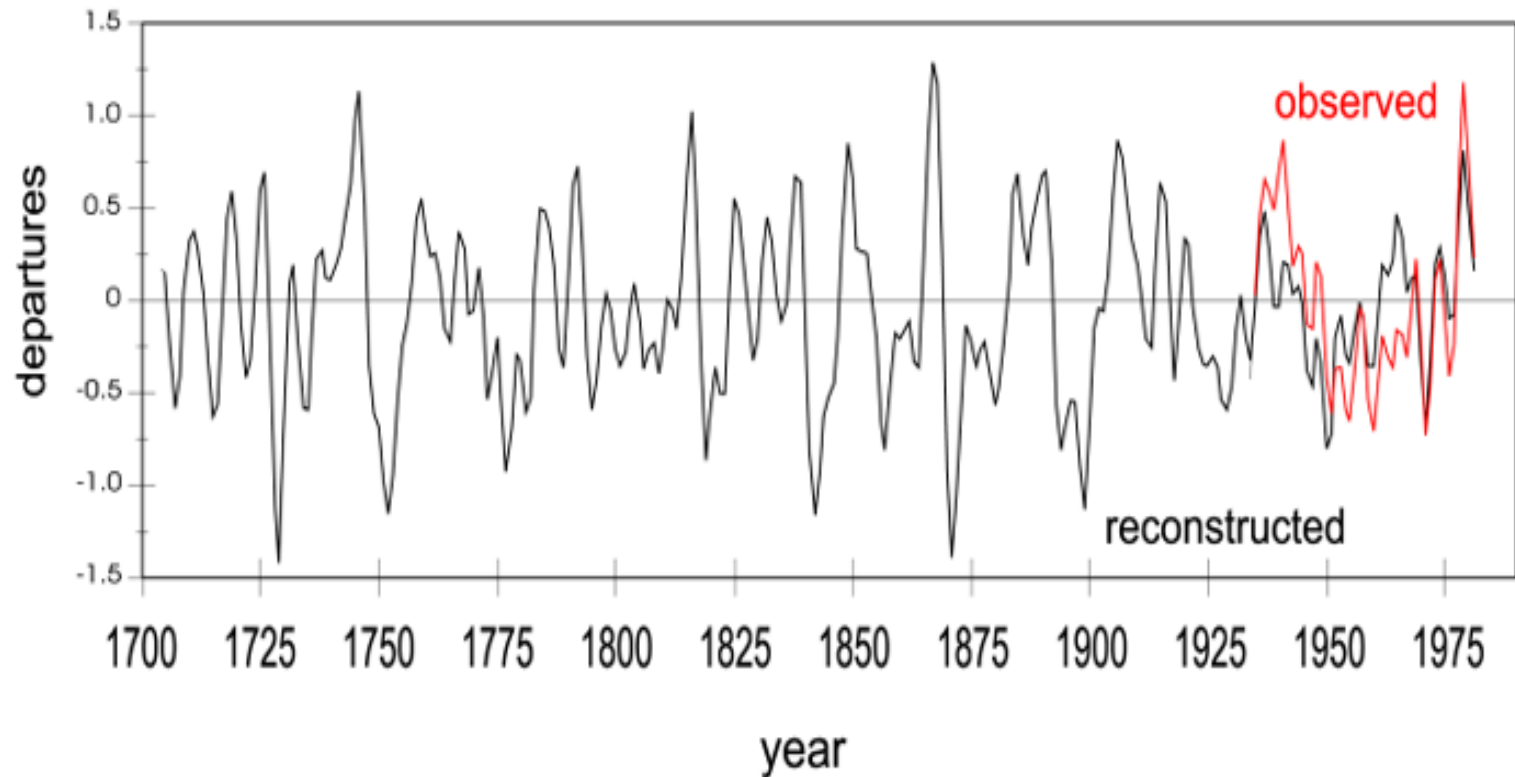
Anillos de árboles





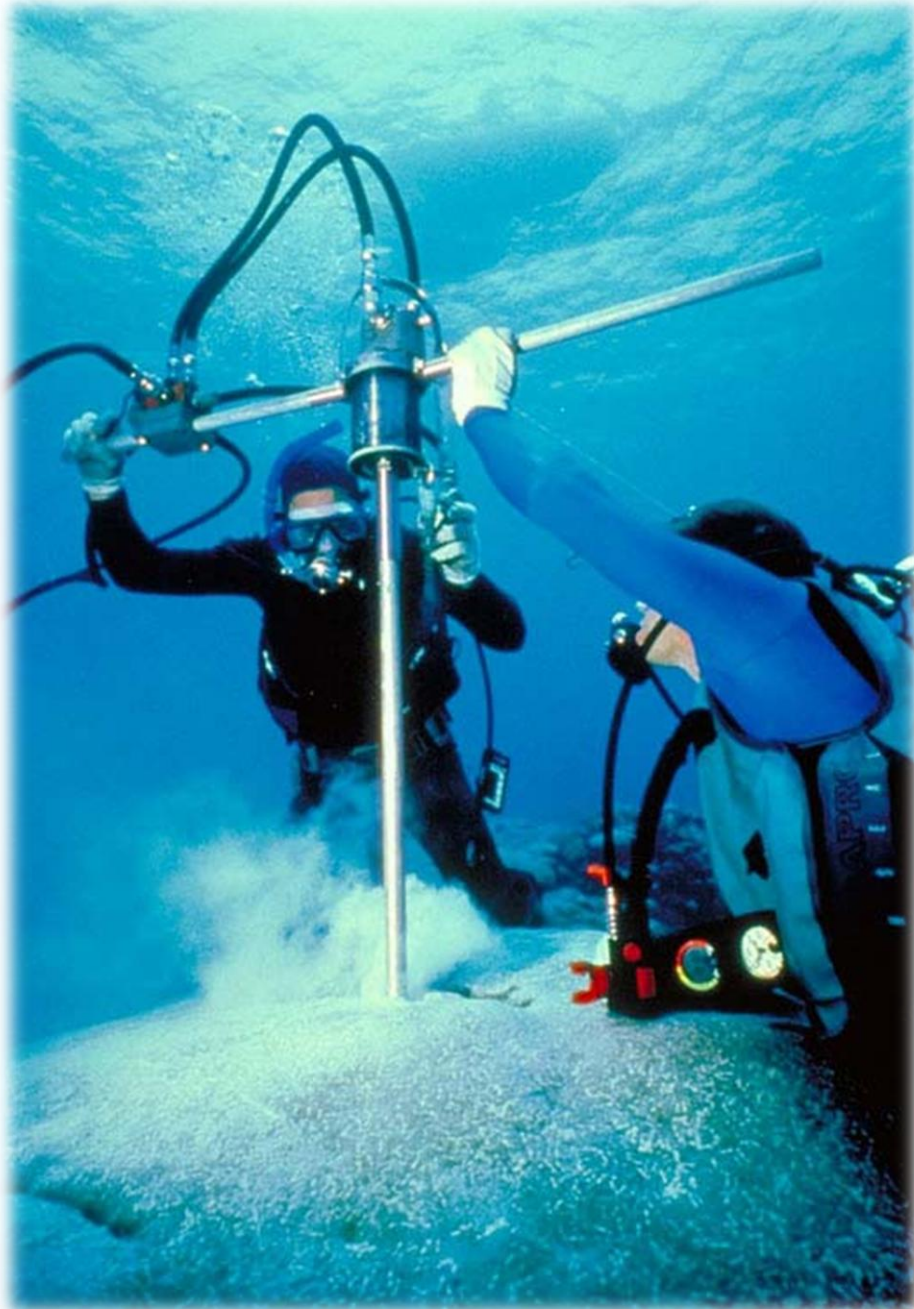
Number of Precipitation Days in Winter Reconstructed from Southwestern Tree Ring Chronologies

N. Arizona/New Mexico

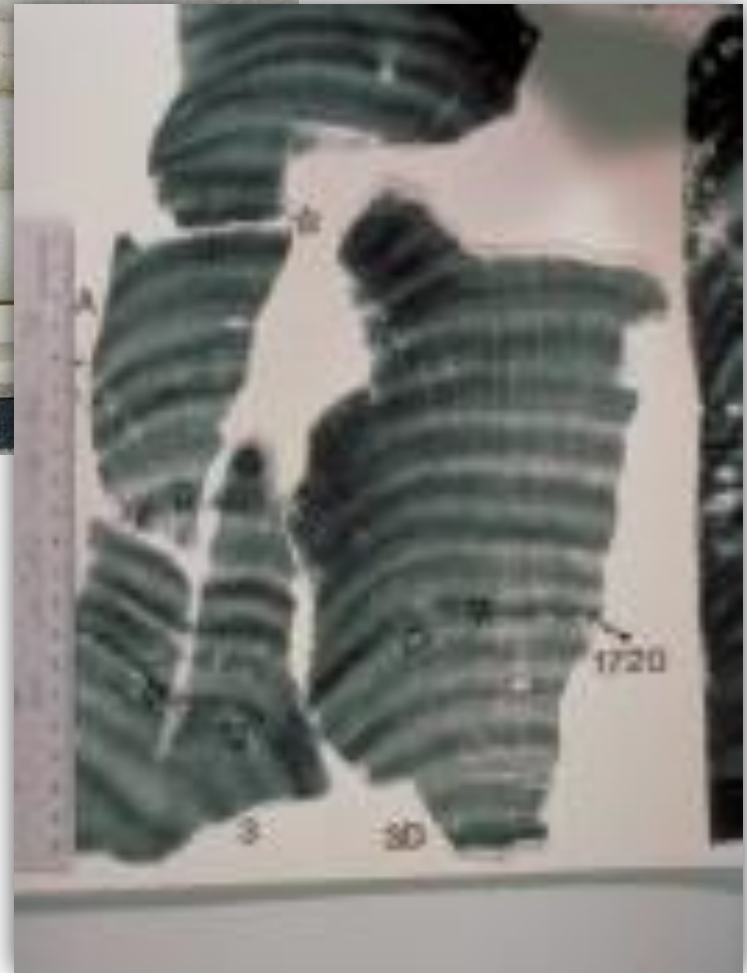


Corales



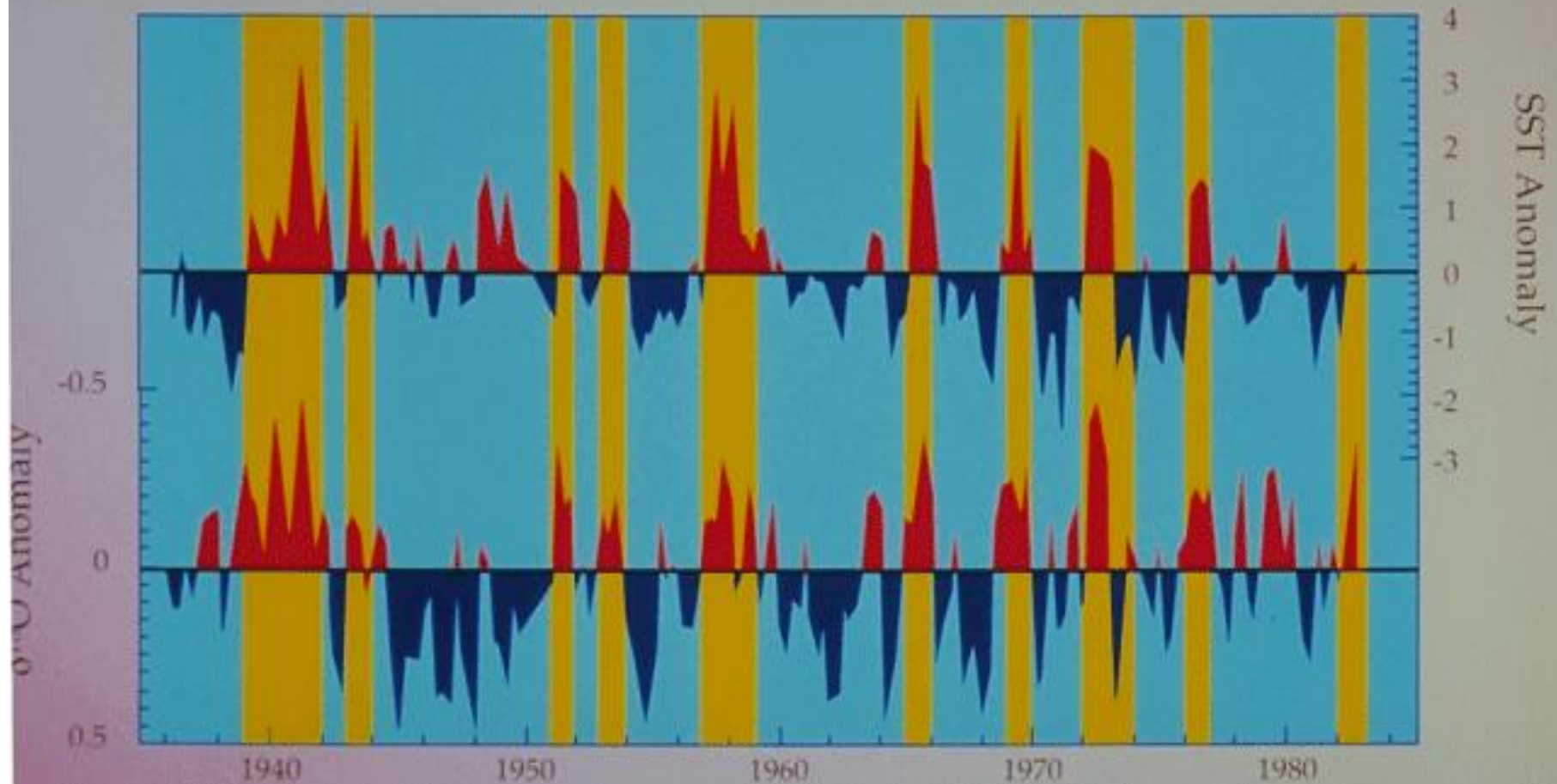


Corales



Reconstrucción de la Temperatura Superficial del Mar

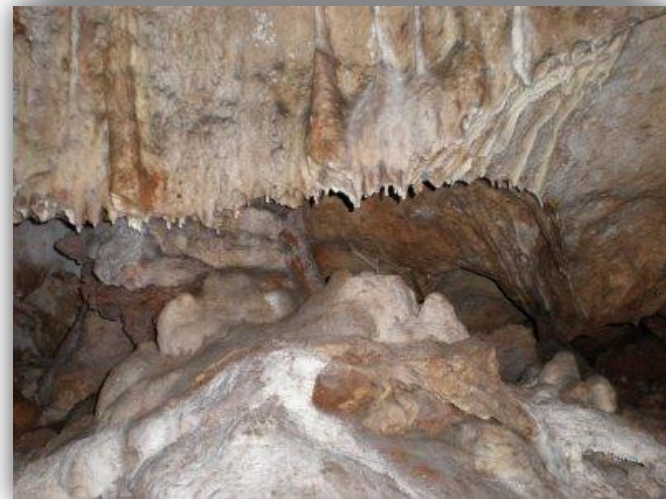
Coral $\delta^{18}\text{O}$ at Punta Pitt, Galápagos Provides a Record of Sea Surface Temperatures in an El Niño Sensitive Area



Espeleotemas



Estalactitas y Estalagmitas



Cueva de Tzabnah

Gruta Botuverá, Brazil

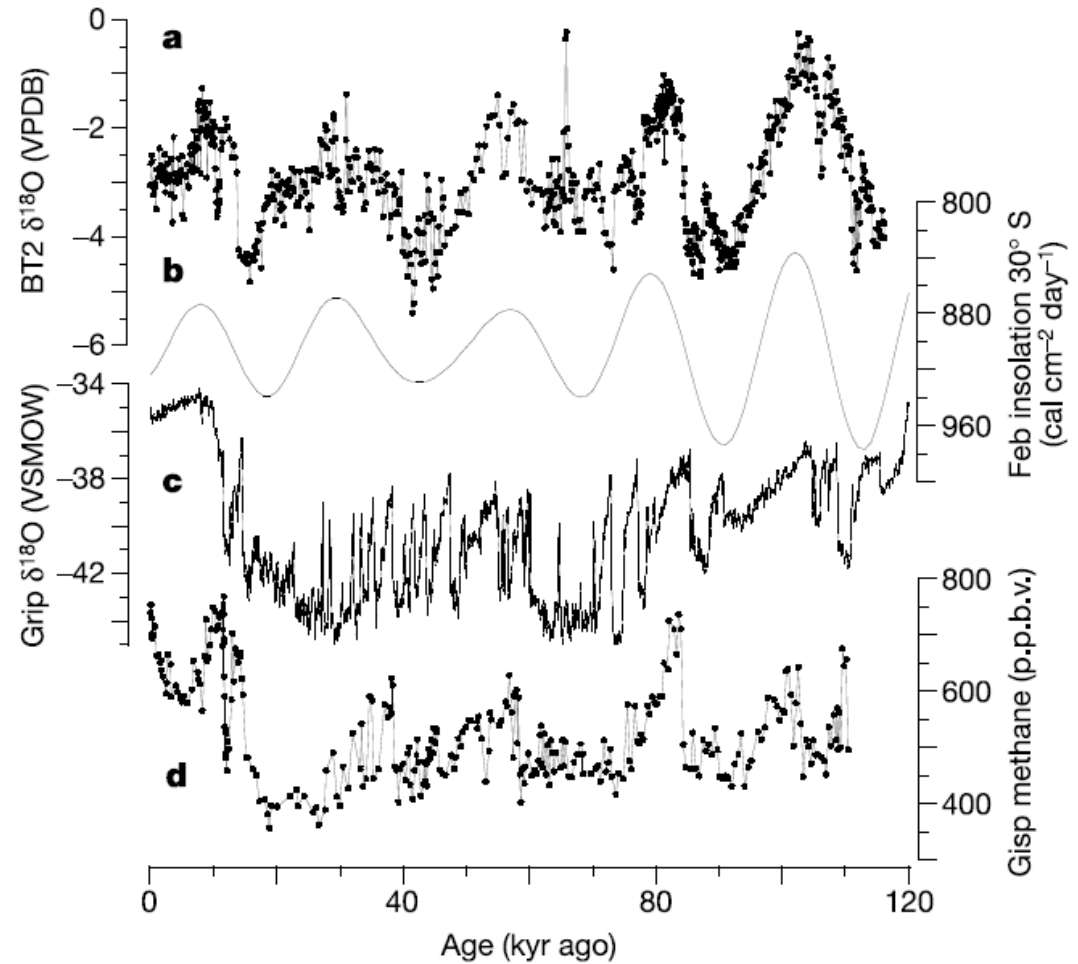


Figure 2 Stable oxygen isotope profile for stalagmite BT2. The BT2 profile (a) is compared with February solar insolation for 30°S (b), oxygen isotopes of the NGrIP ice core from Greenland (c), and atmospheric methane concentrations from the Greenland ice core (d).

Sedimentos lacustres

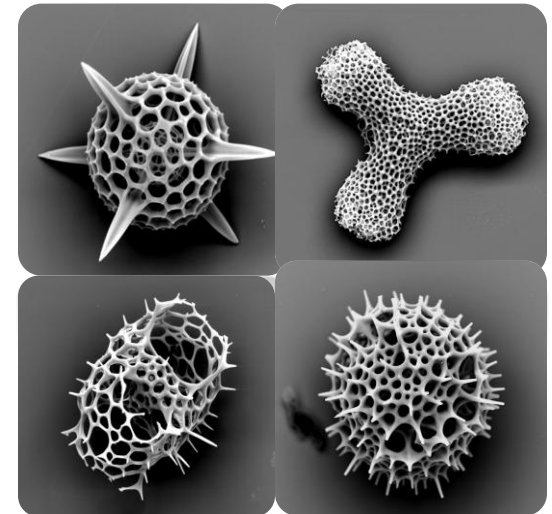
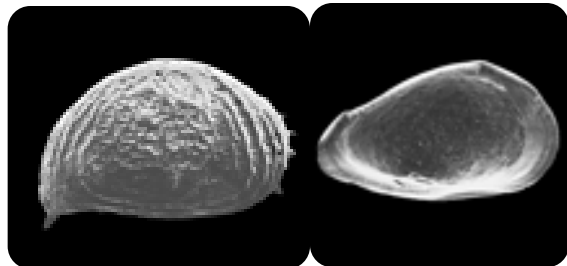
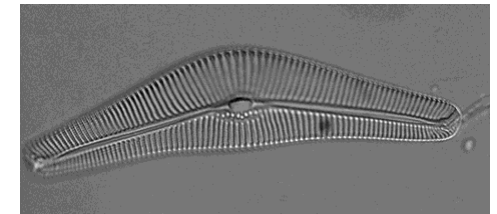
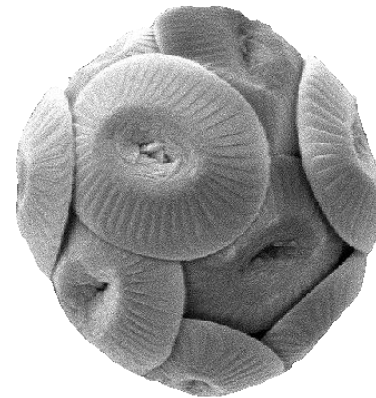
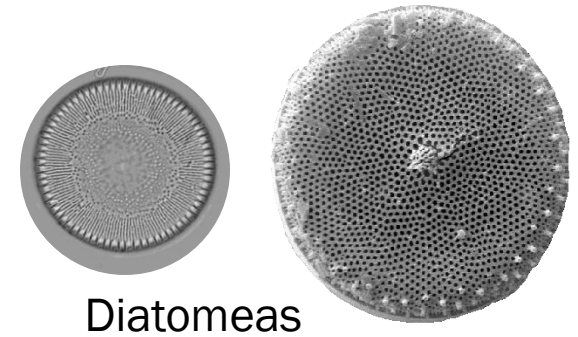
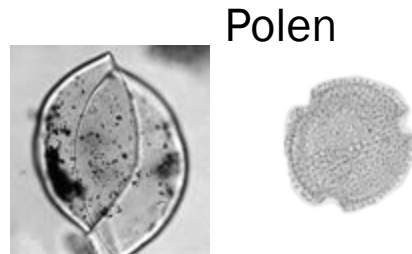
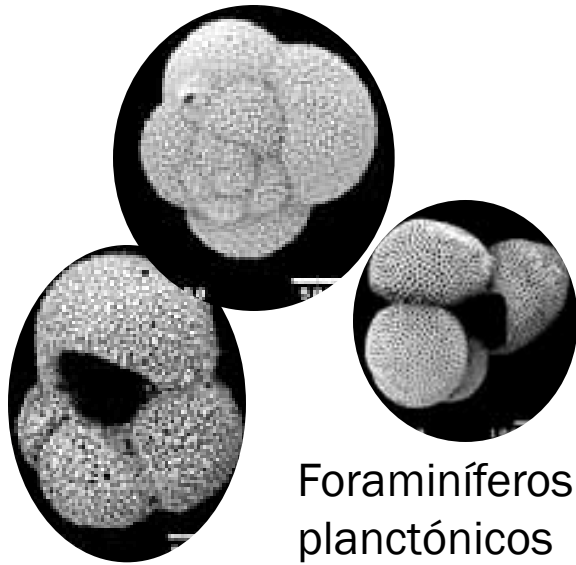


Lago Chichancanab



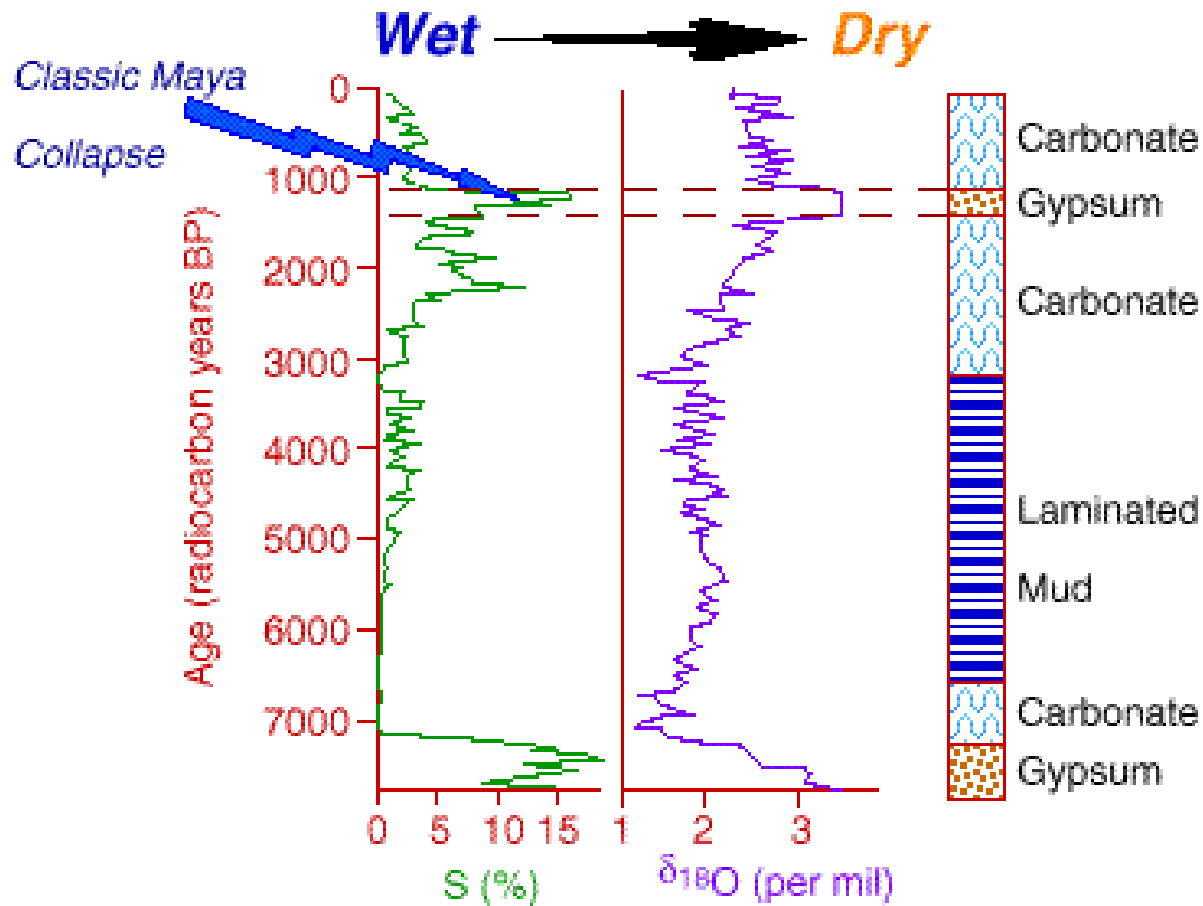
Candona

Proxies biológicos



Mexican Paleoclimate and Civilization Collapse

Surprises in the climate system



(Hodell et al, 1995 *Nature*)

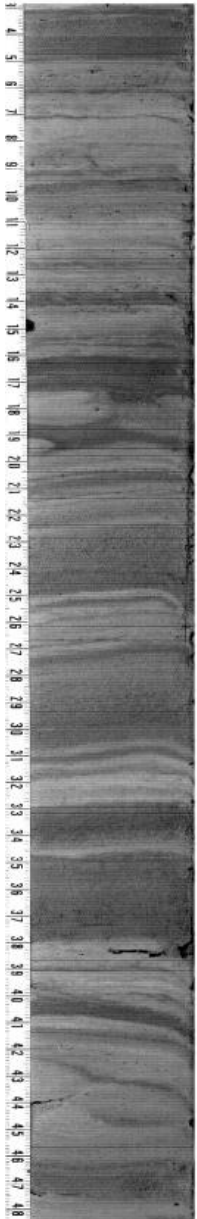
Sedimentos marinos



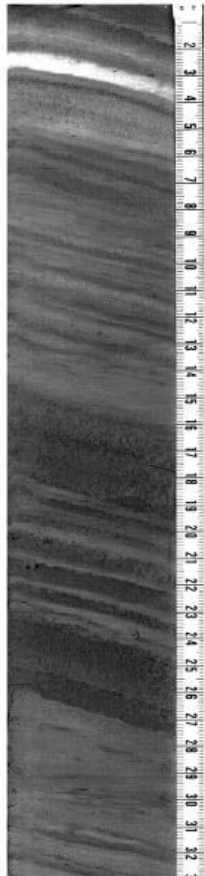




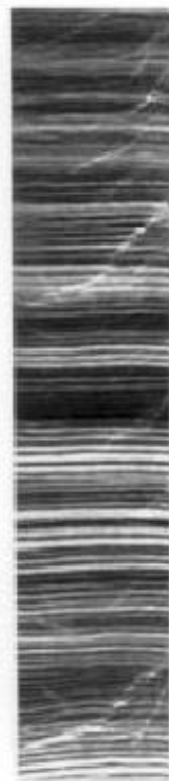
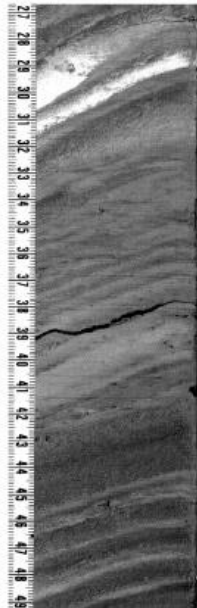
Section
178-1098A-6H-2



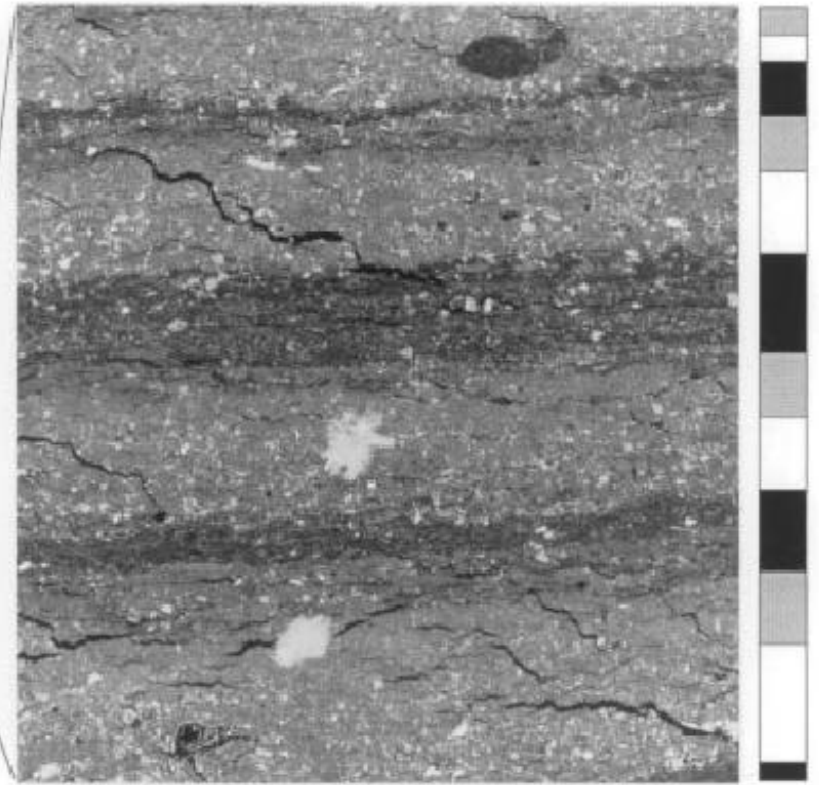
Section
178-1098C-5H-3



Section
178-1098B-5H-6



(a)

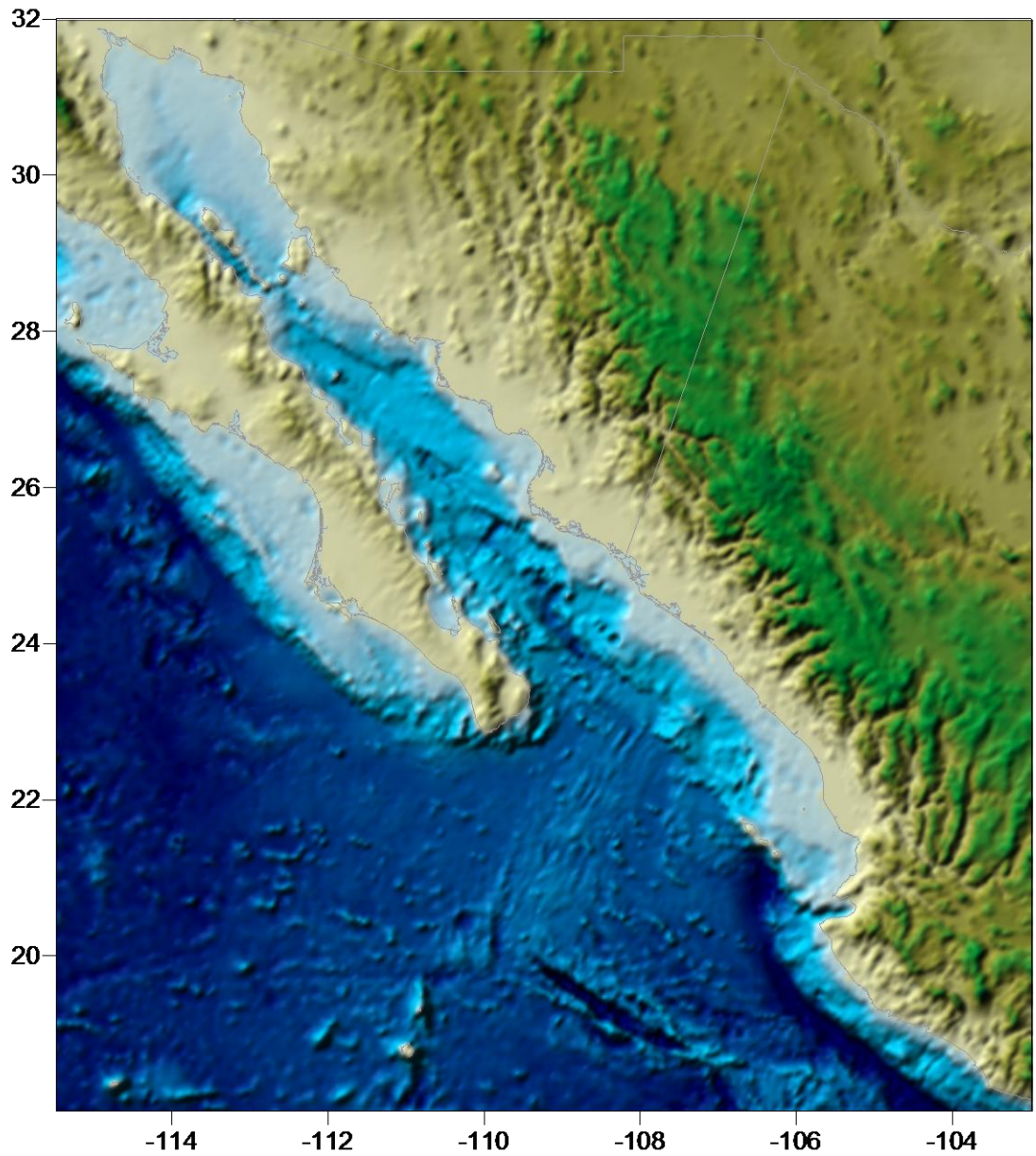


(b)

Paleo-sensores

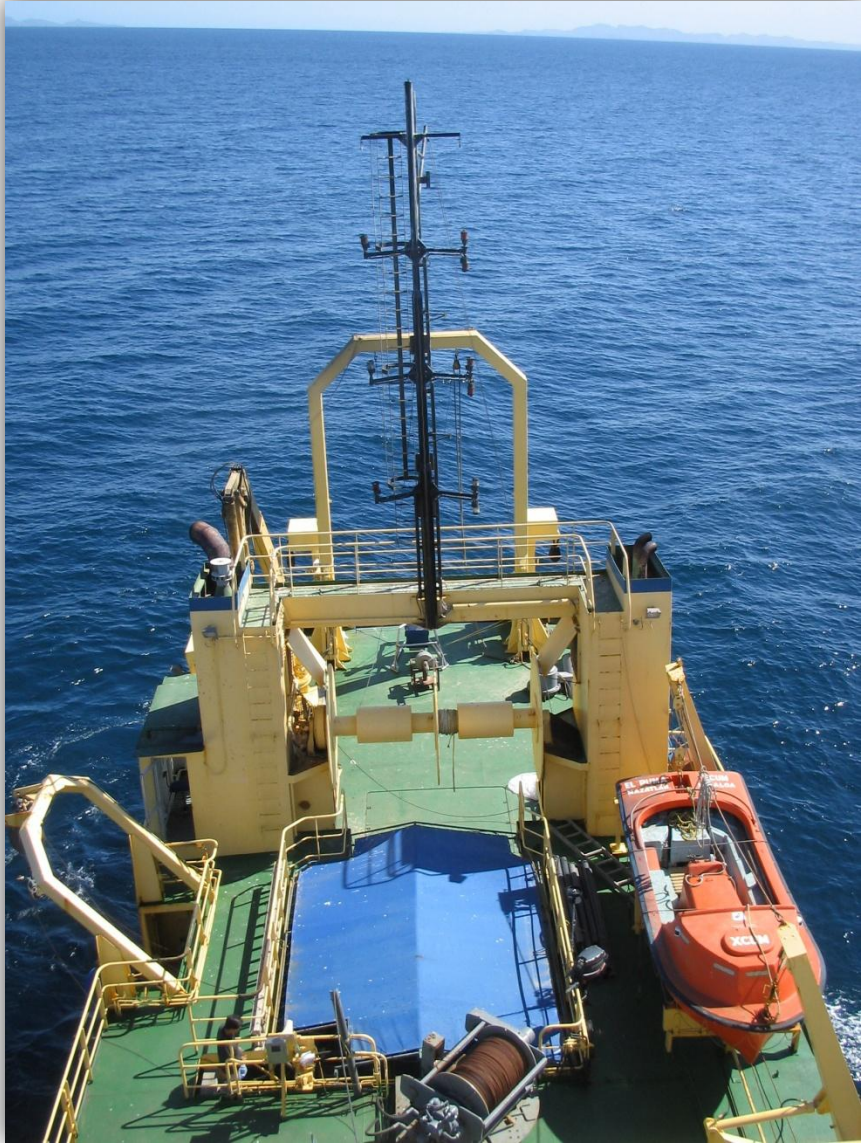
- Temperatura
- Salinidad
- Precipitación
- Oxígeno
- Nutrientes (zonas de productividad en el mar)
- Circulación oceánica
- Masas de agua

Sedimentos laminados en el Golfo de California

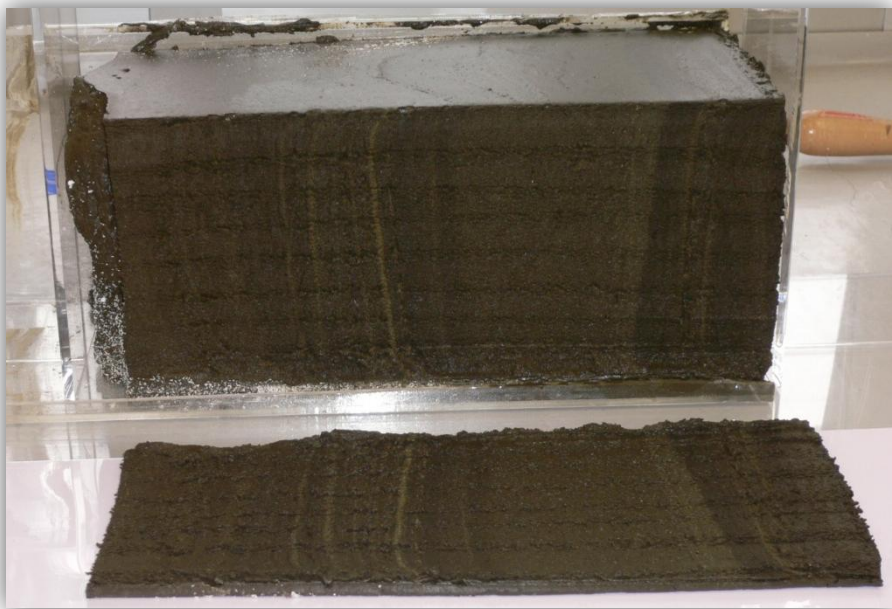


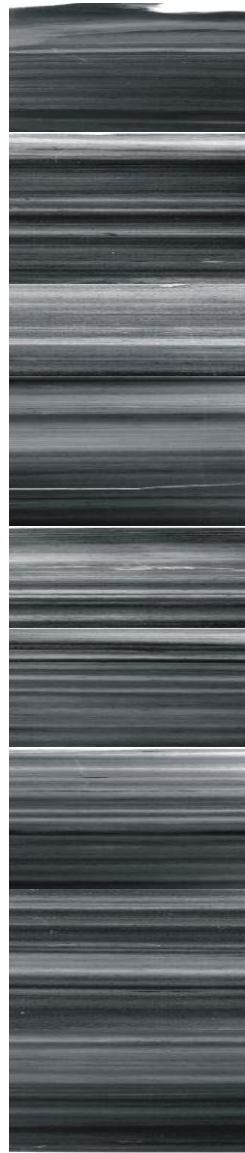
B/O “El Puma” de la UNAM

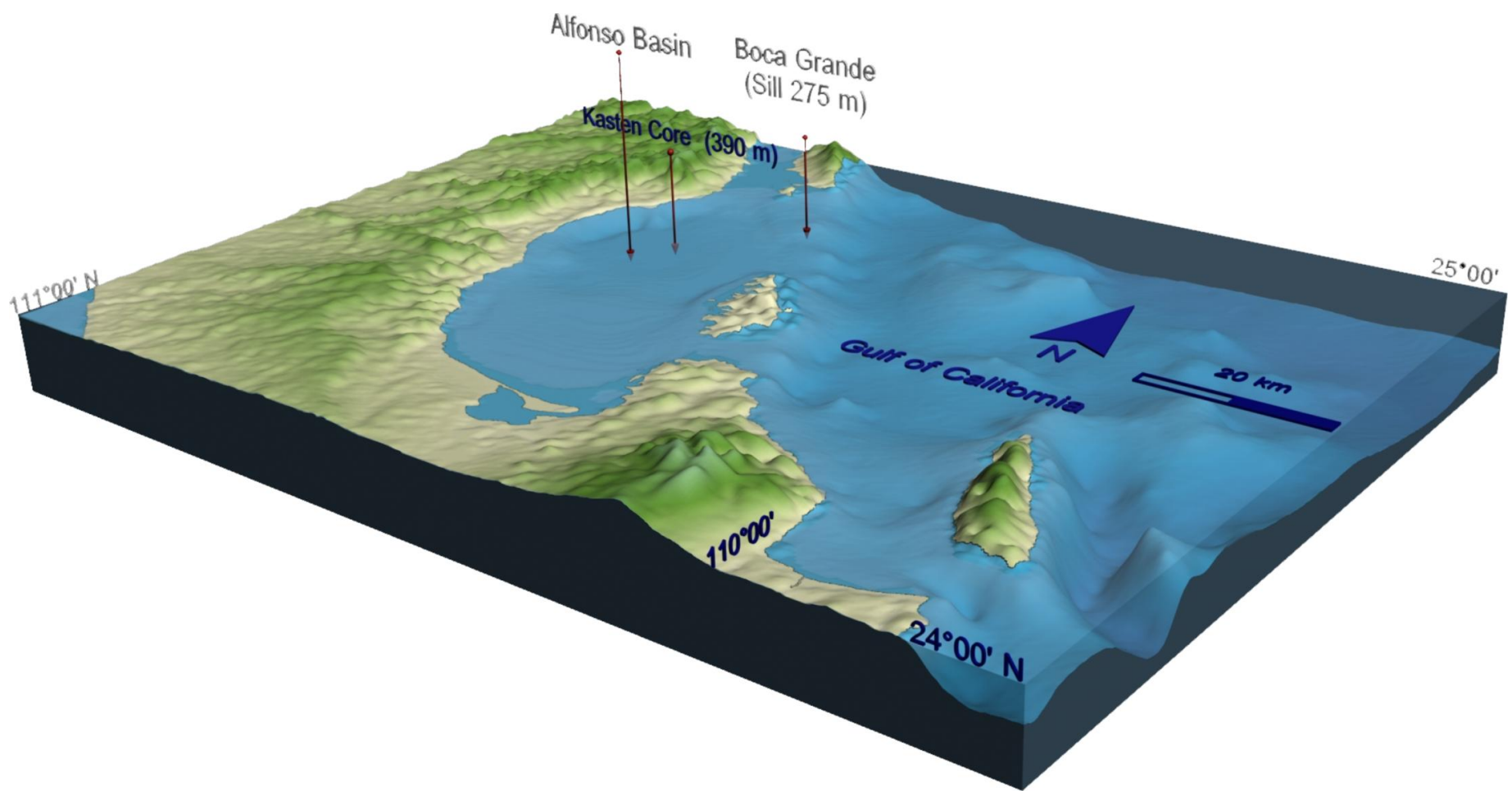




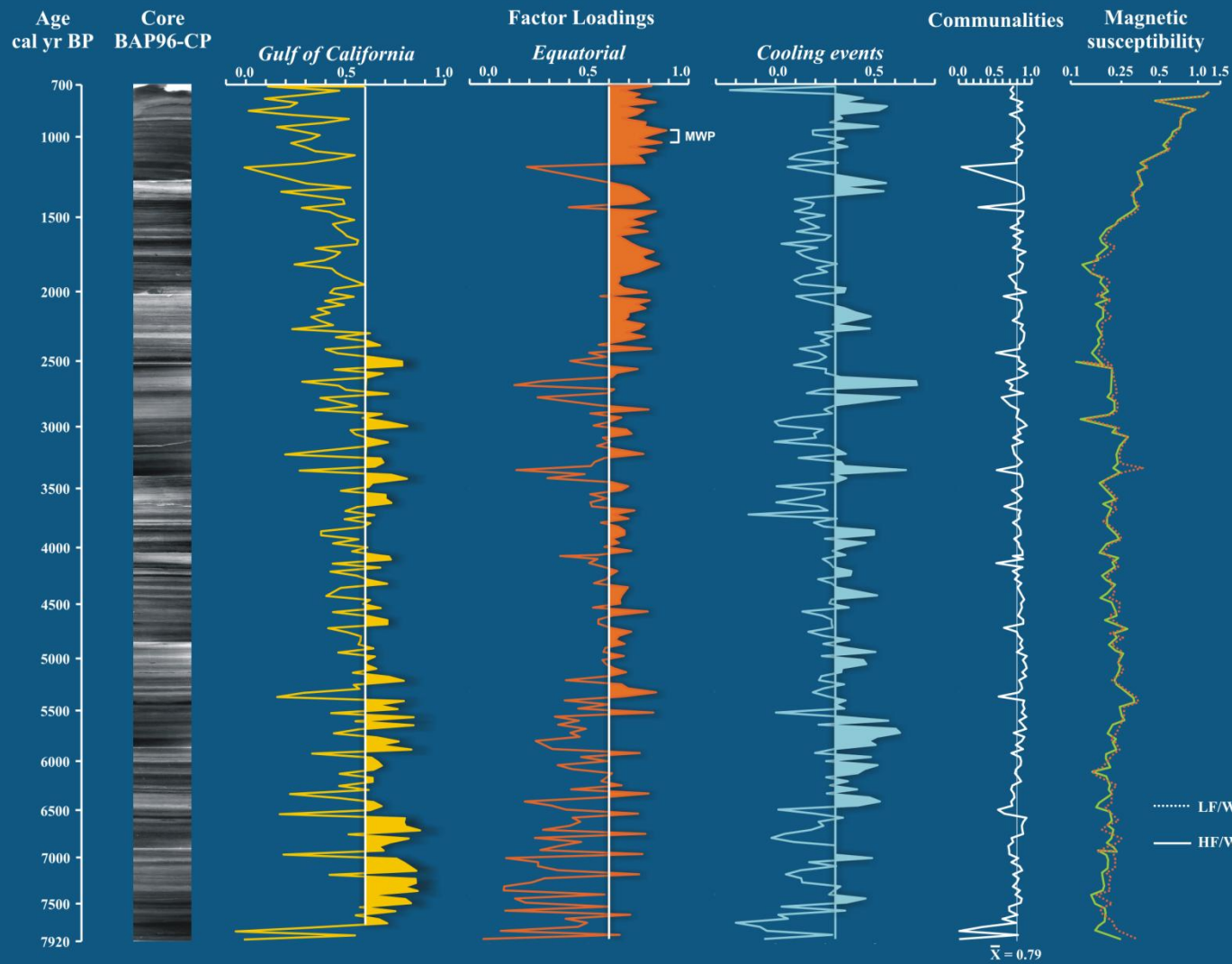


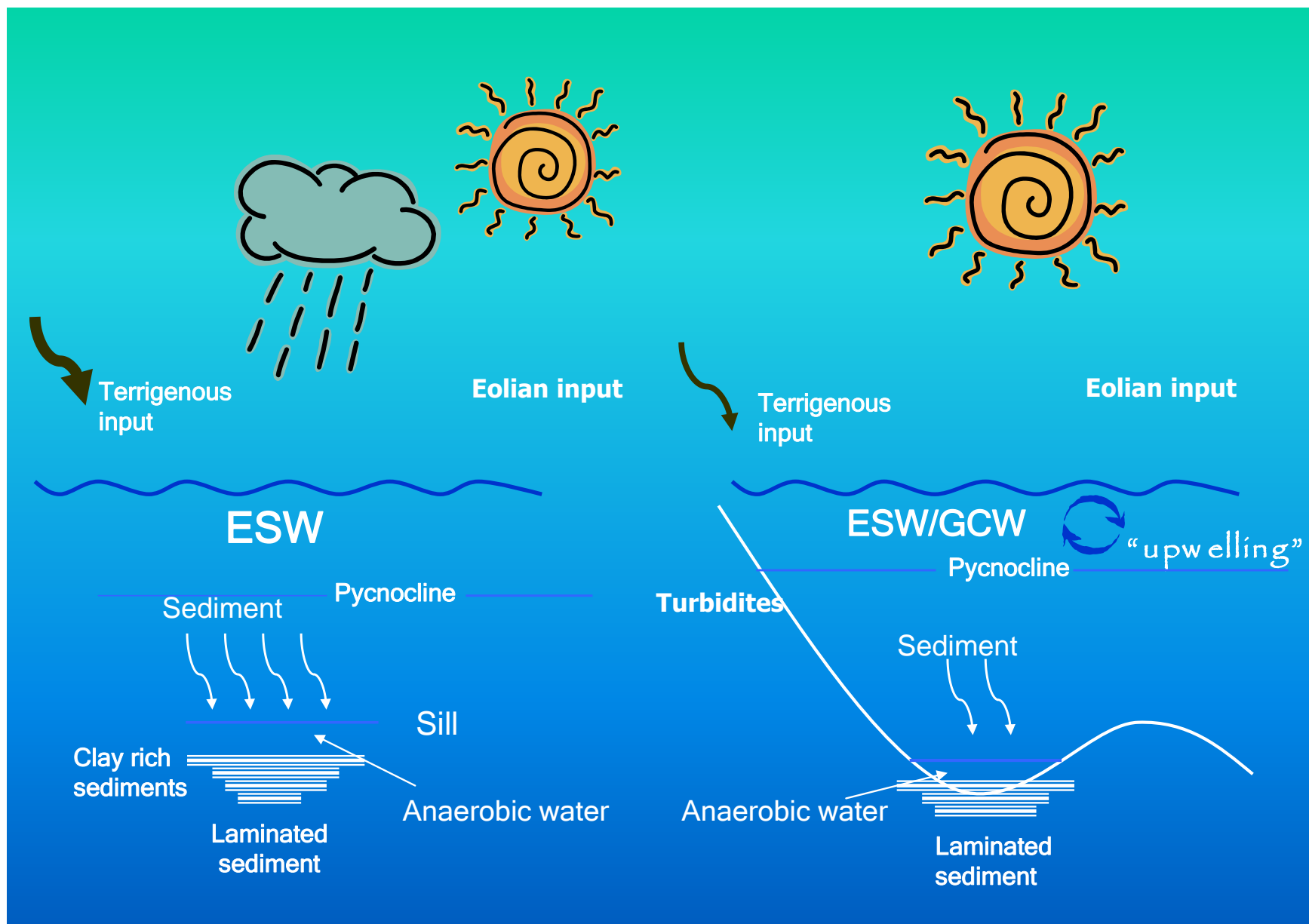




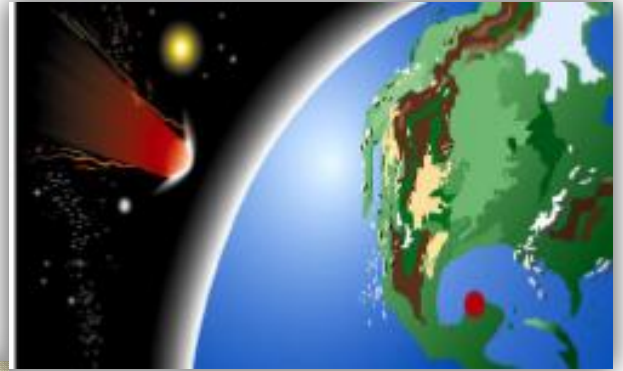


Registro de los últimos 8000 años en la Bahía de la Paz



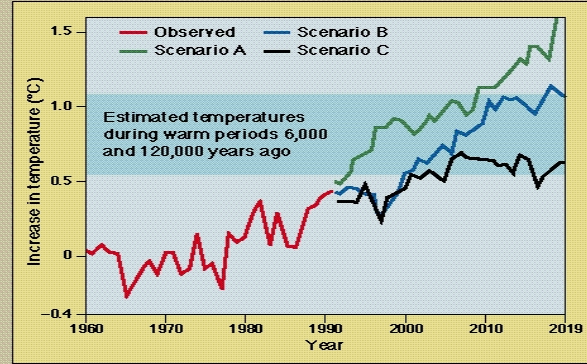


- Entendiendo el pasado = entenderemos el futuro



- Ayuda a mejorar los modelos climáticos

Observed Changes in Global Temperature



- Entender cómo los humanos hemos influenciado el sistema climático





dyos bo'otik