



# **El Sistema Climático**

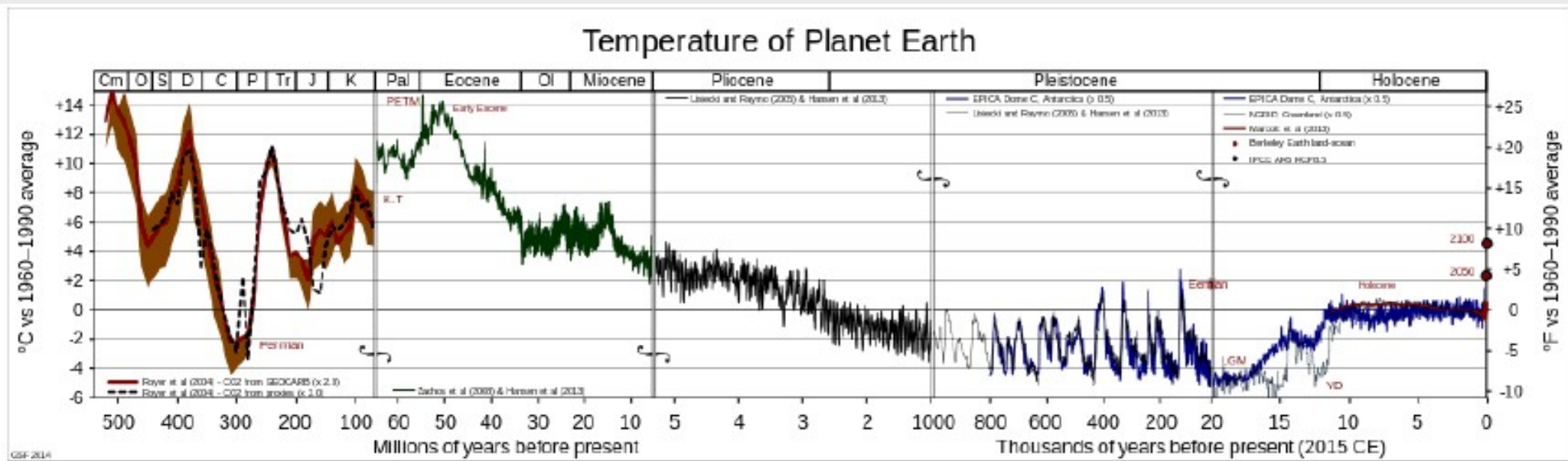
## **Maestría en Geociencias**

**2022**

# Variabilidad Climática Natural

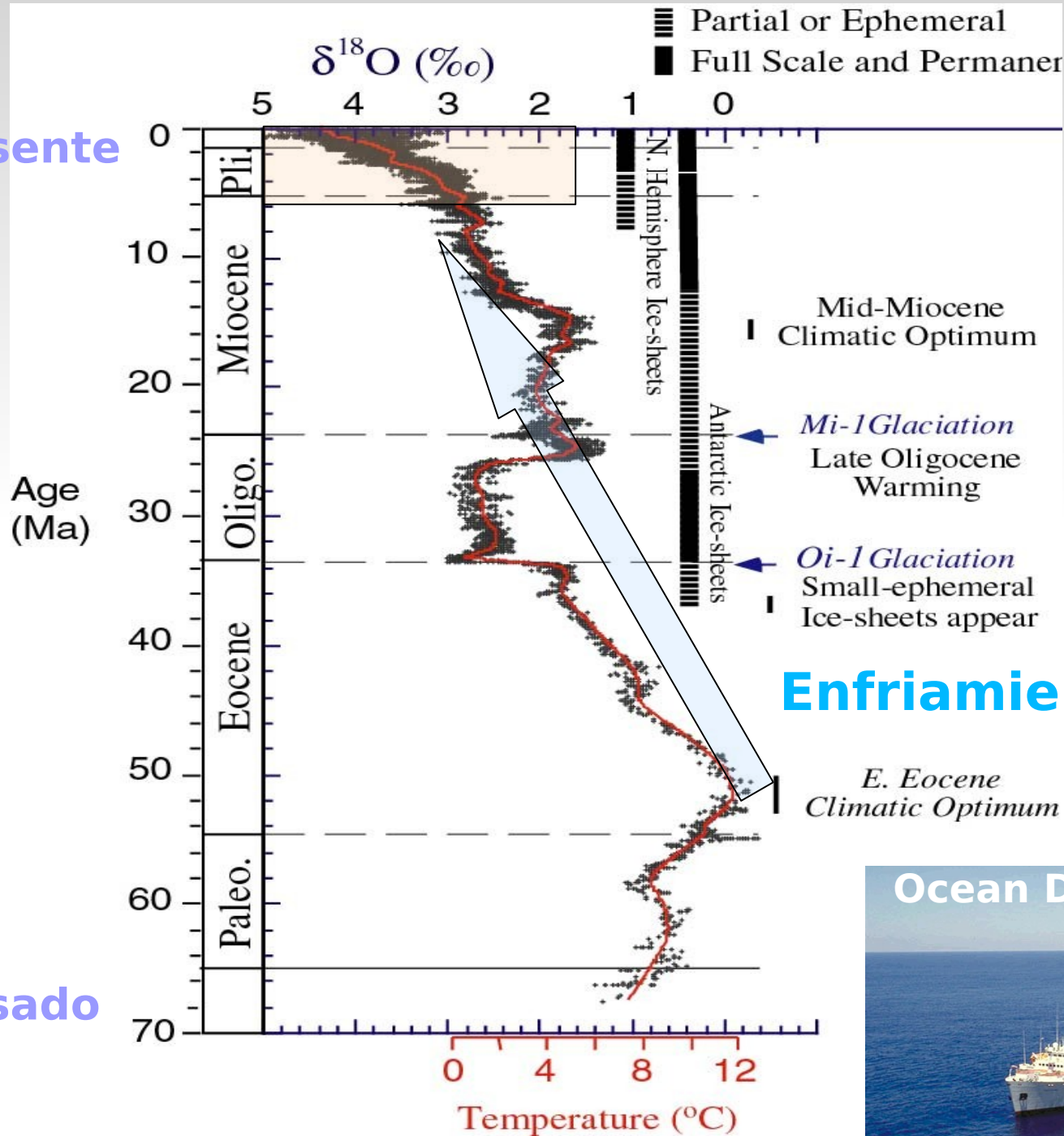
Últimos millones de años

# Evolución del clima en últimos 500 millones de años



# Clima (Artico) en los últimos 70 millones de años

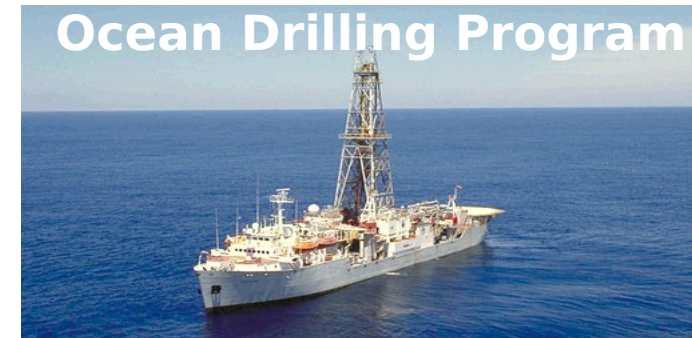
Presente



Zachos et al. (2001)

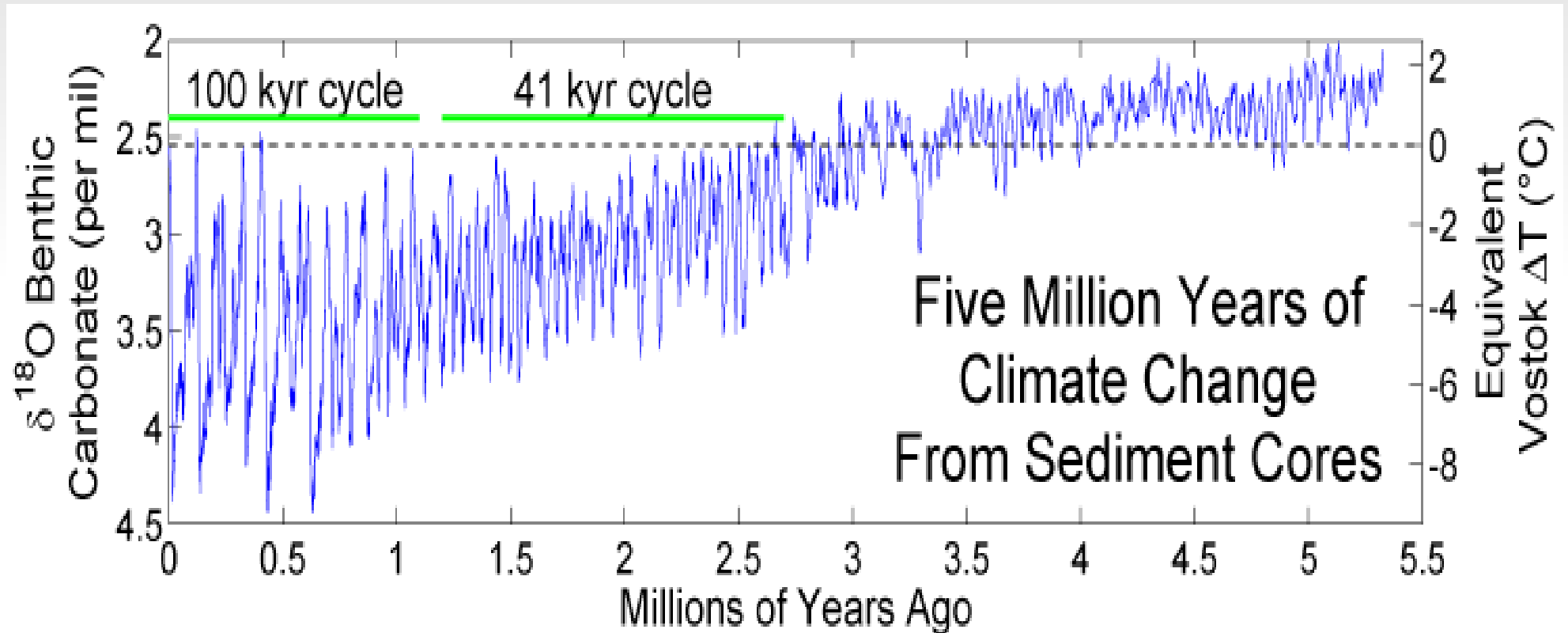
Foraminifera  
CaCO<sub>3</sub>

Enfriamiento global

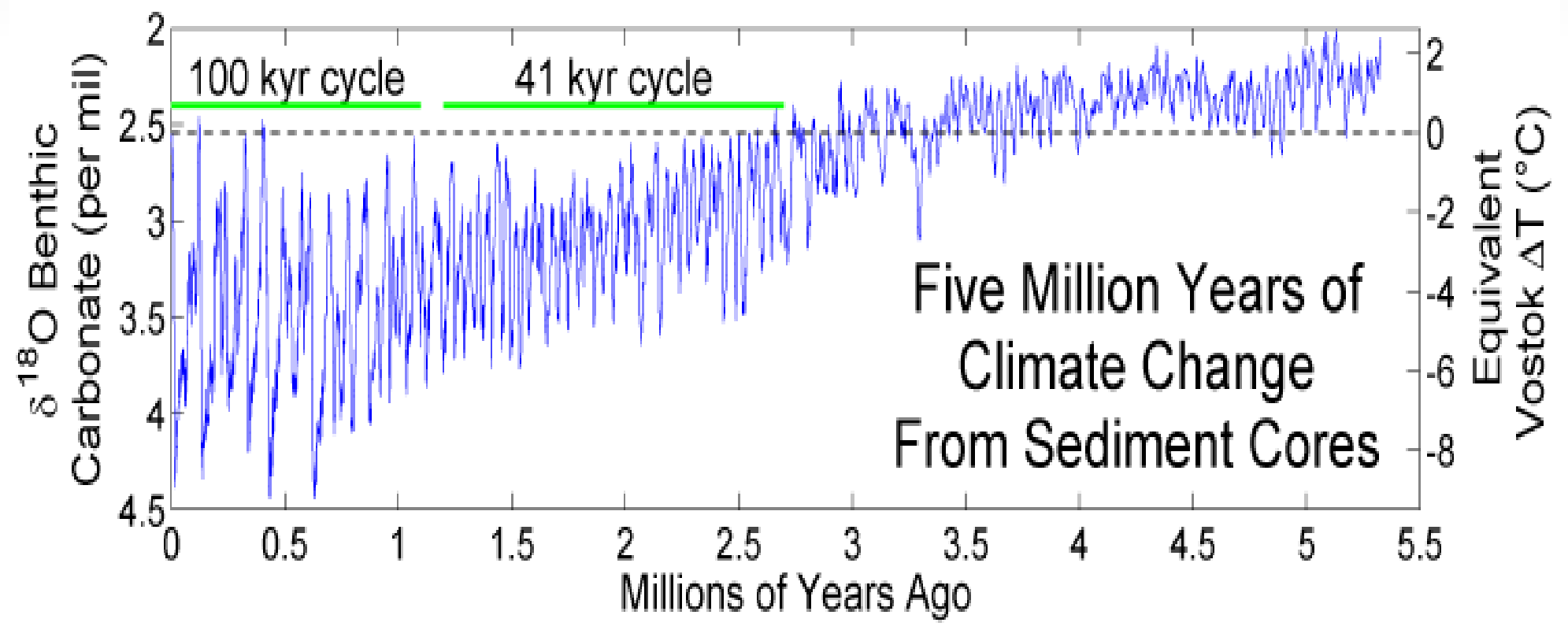
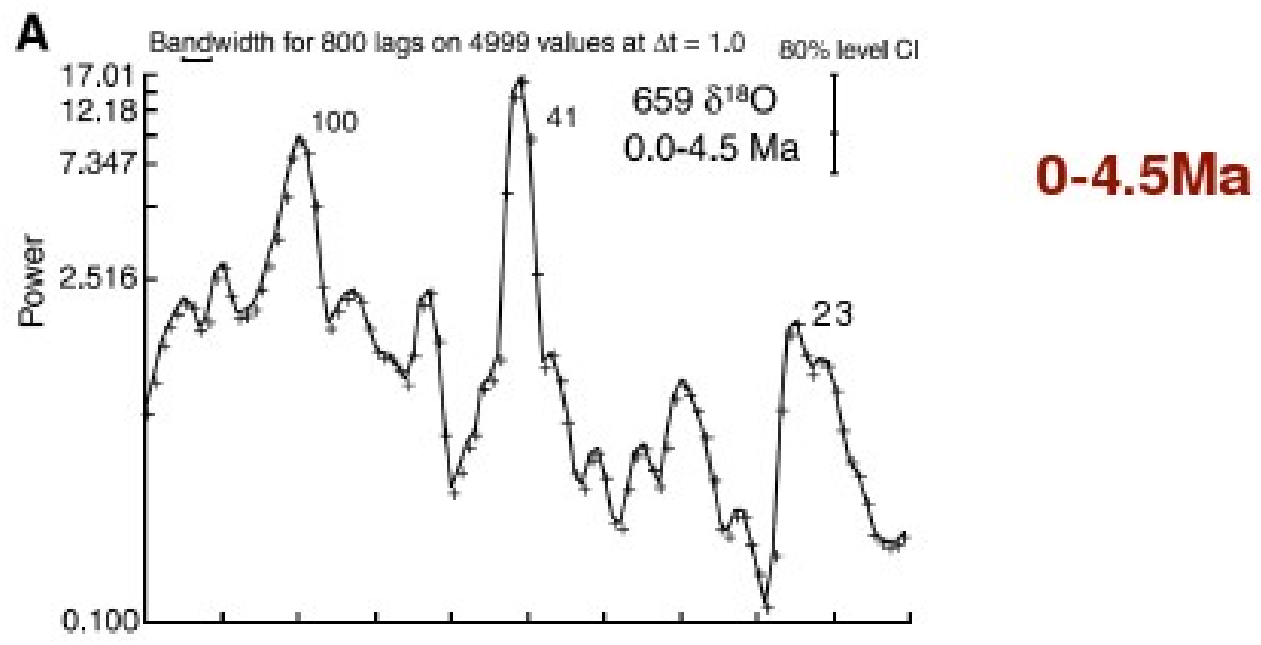


Pasado

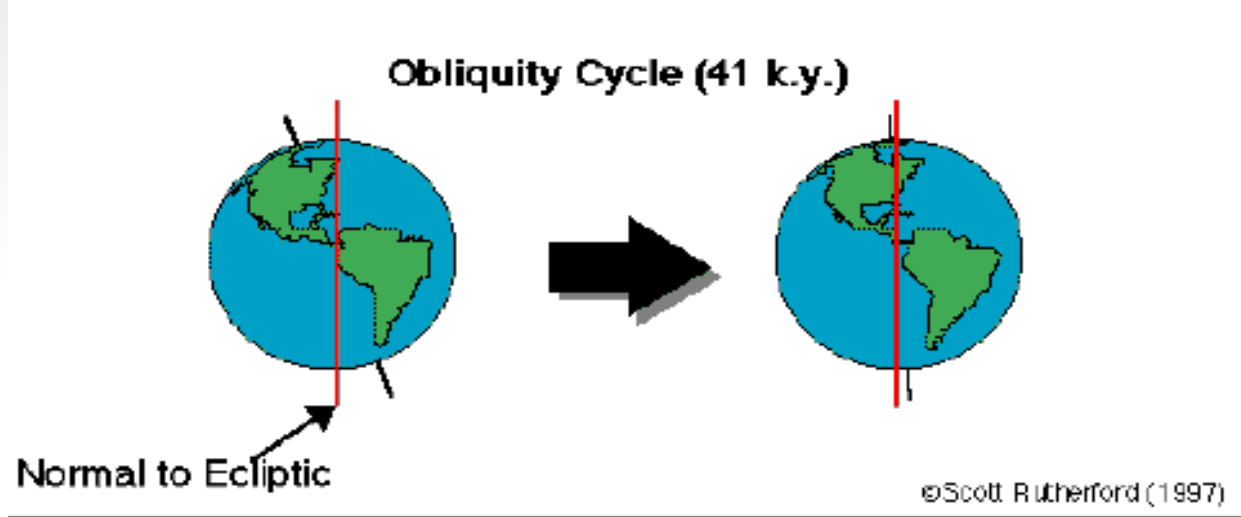
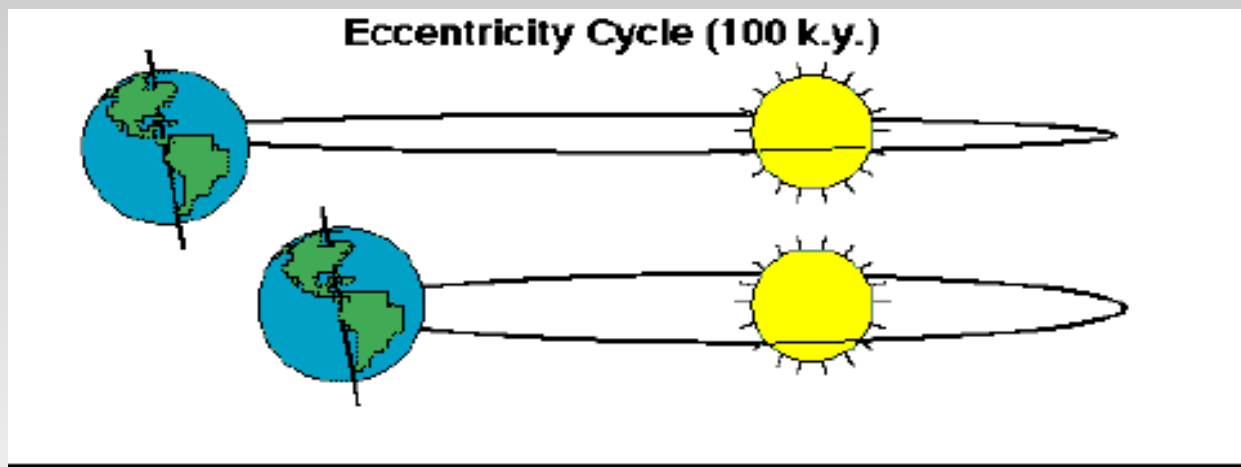
# Ultimos 5 millones de años



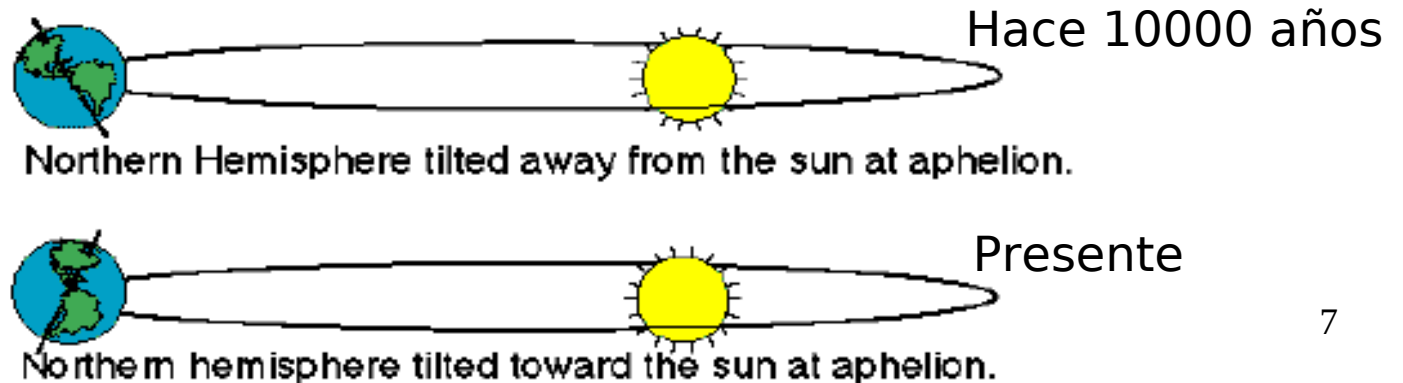
Masa total de hielo global



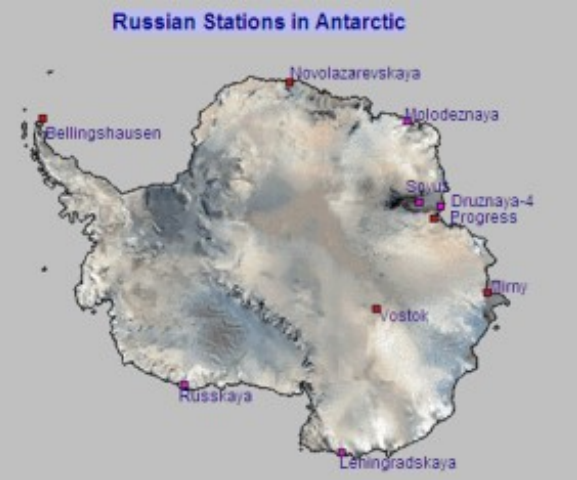
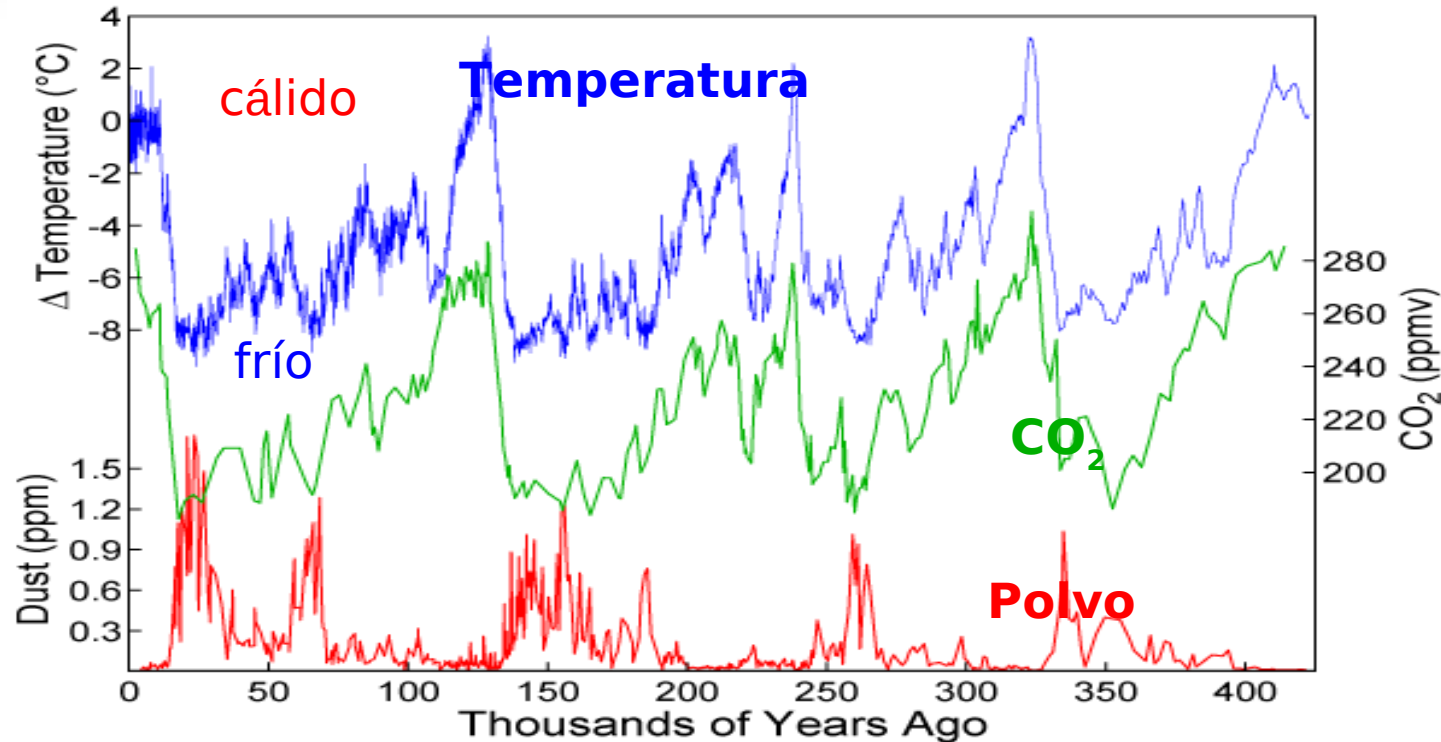
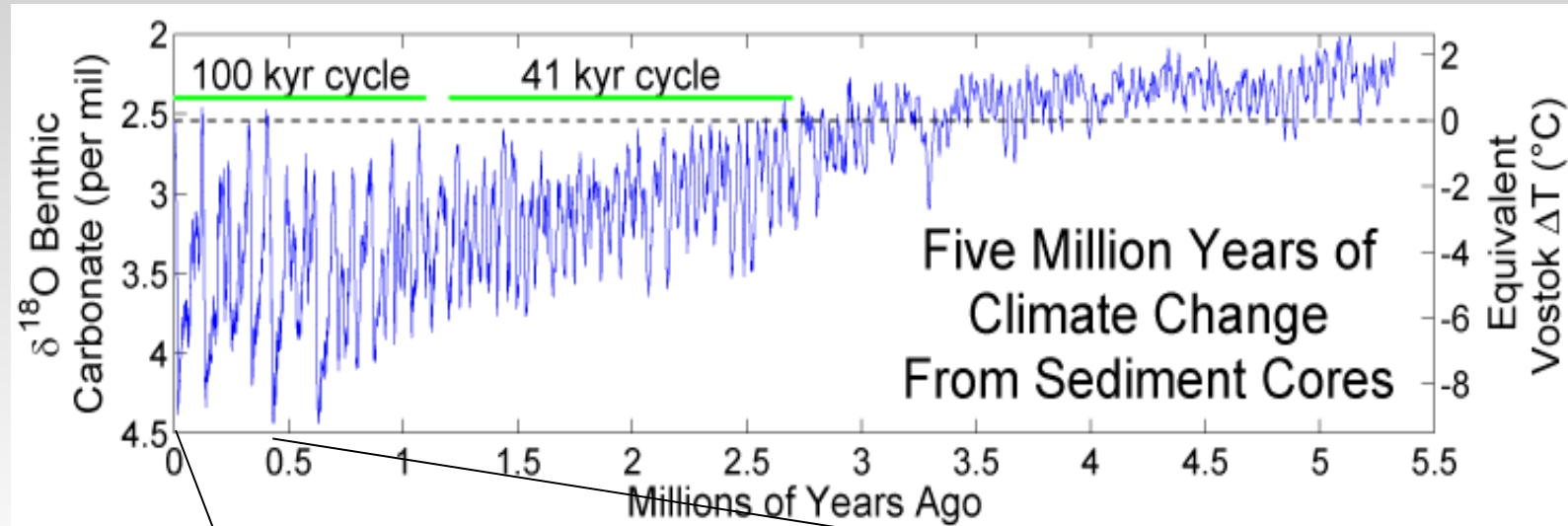
# Ciclos de Milankovich



## Precession of the Equinoxes (19 and 23 k.y.)



# Ciclos glaciares



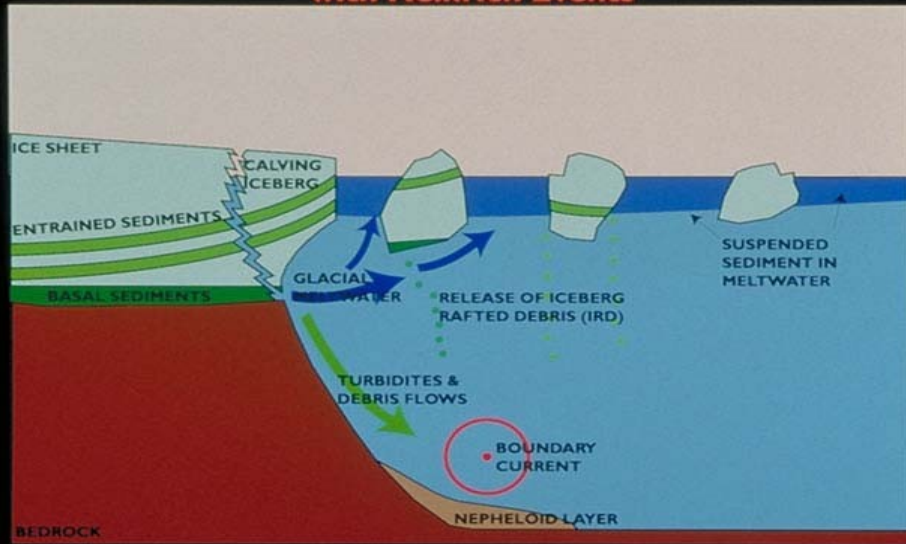
Vostok, Antarctica



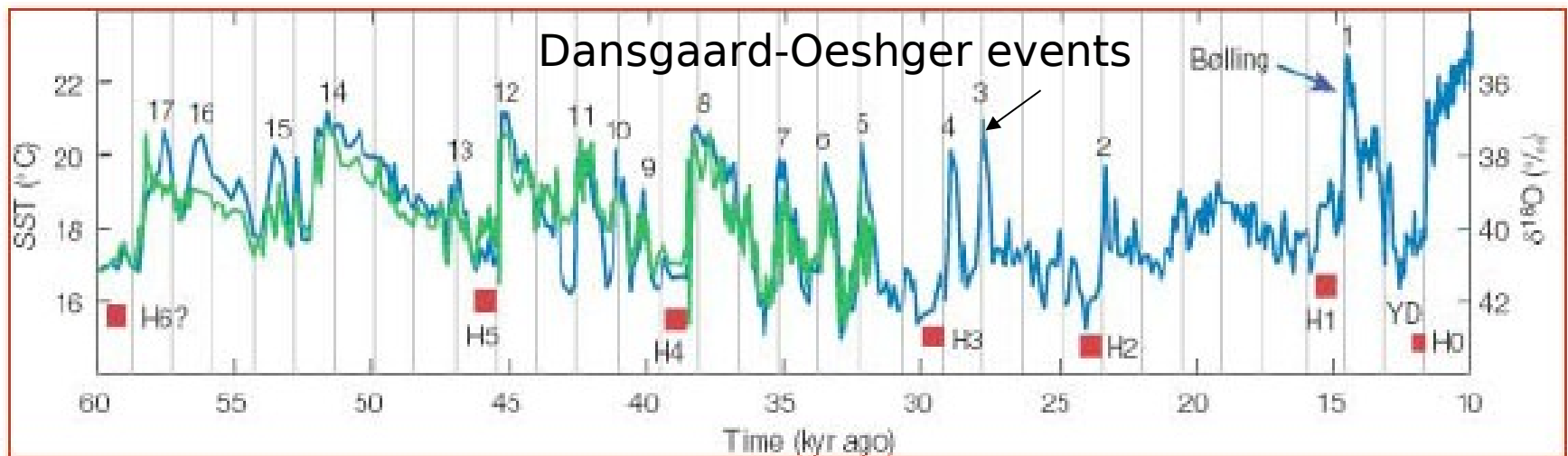
# Dentro de un período glaciario

## Eventos Heinrich: descargas masivas de icebergs en el Atlantico Norte

Sediment Transport and Deposition Associated with Heinrich Events



Asociados con climas frios en el Atlantico norte y menor formacion de aguas profundas



# Younger Dryas - El día después de mañana

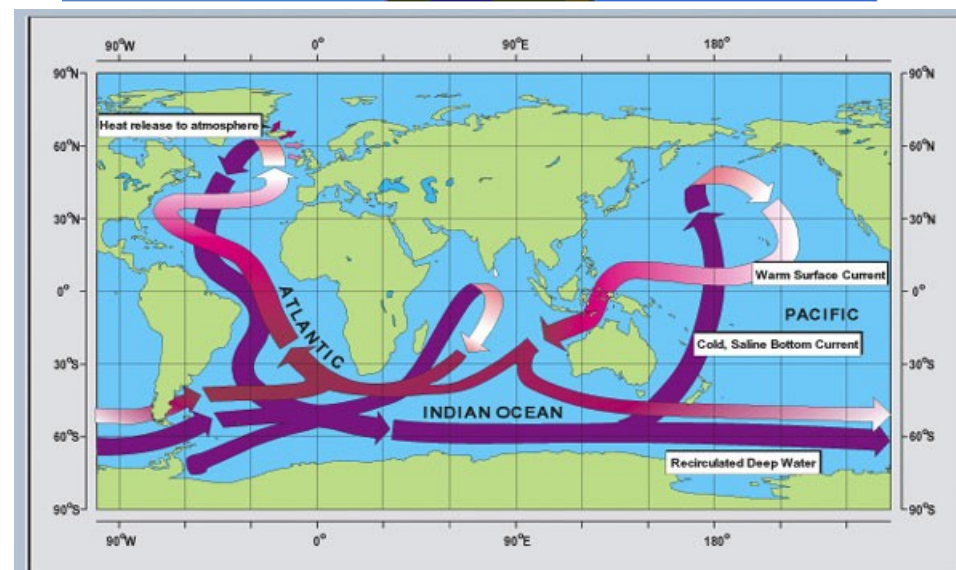


Durante la terminación de la última Edad de Hielo hubo un retorno a clima glacial en Groenlandia.

Colapso de la circulación termohalina?



19/06/22



Schematic diagram of the global ocean circulation pathways, the 'conveyor' belt (after W. Broecker, modified by E. Maier-Reimer).

WHERE WILL YOU BE?

FROM THE DIRECTOR OF INDEPENDENCE DAY  
**THE DAY AFTER TOMORROW**

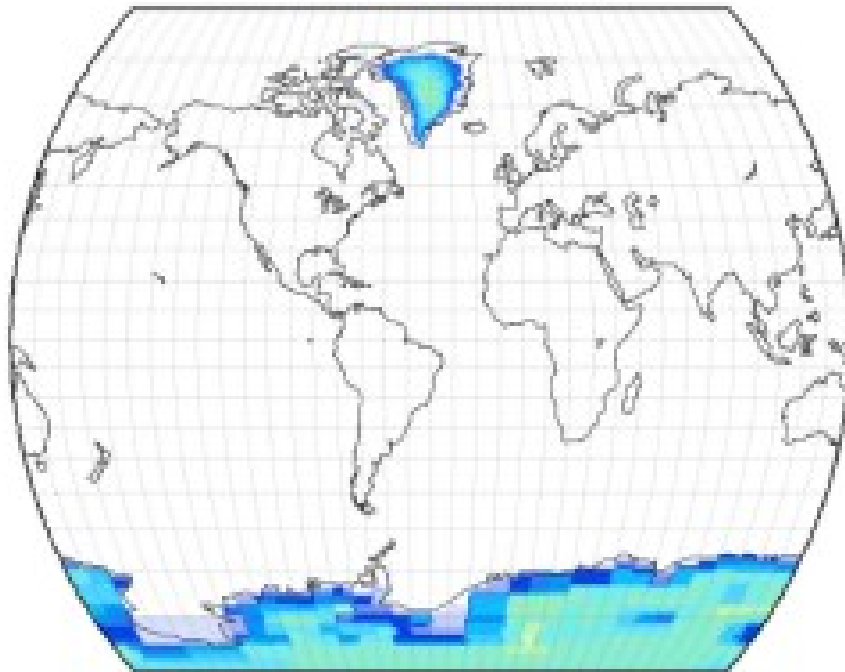
MAY 28 ONLY IN THEATERS

Que es un clima glaciario?

# Cobertura y espesor del hielo

Present Day

Present-Day Ice Sheet Thickness



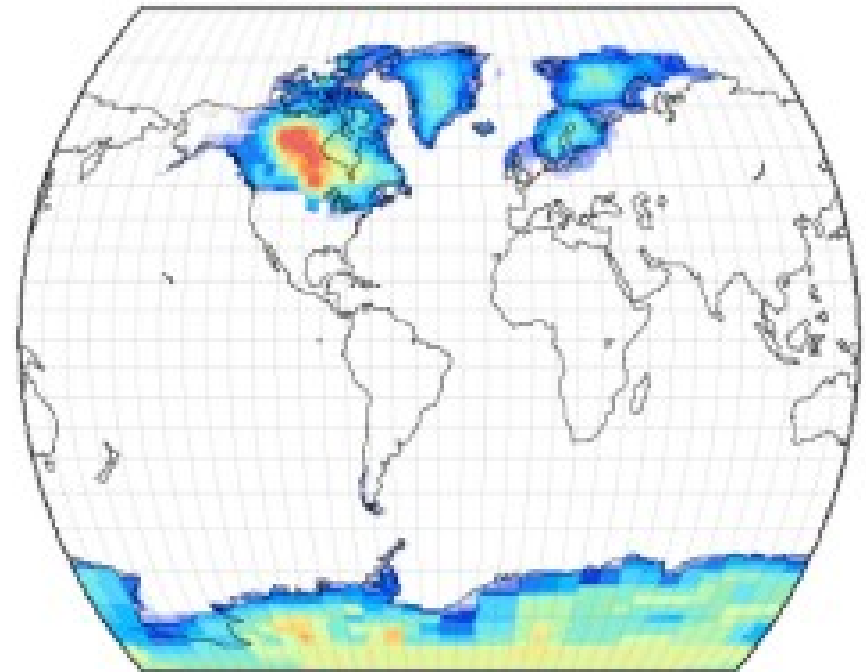
Thickness (m)



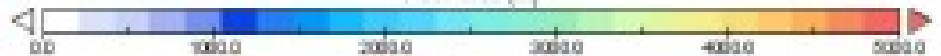
Times Atlas projection centered on 0000E

Last Glacial Maximum

Thickness of the Ice Sheets at the Last Glacial Maximum

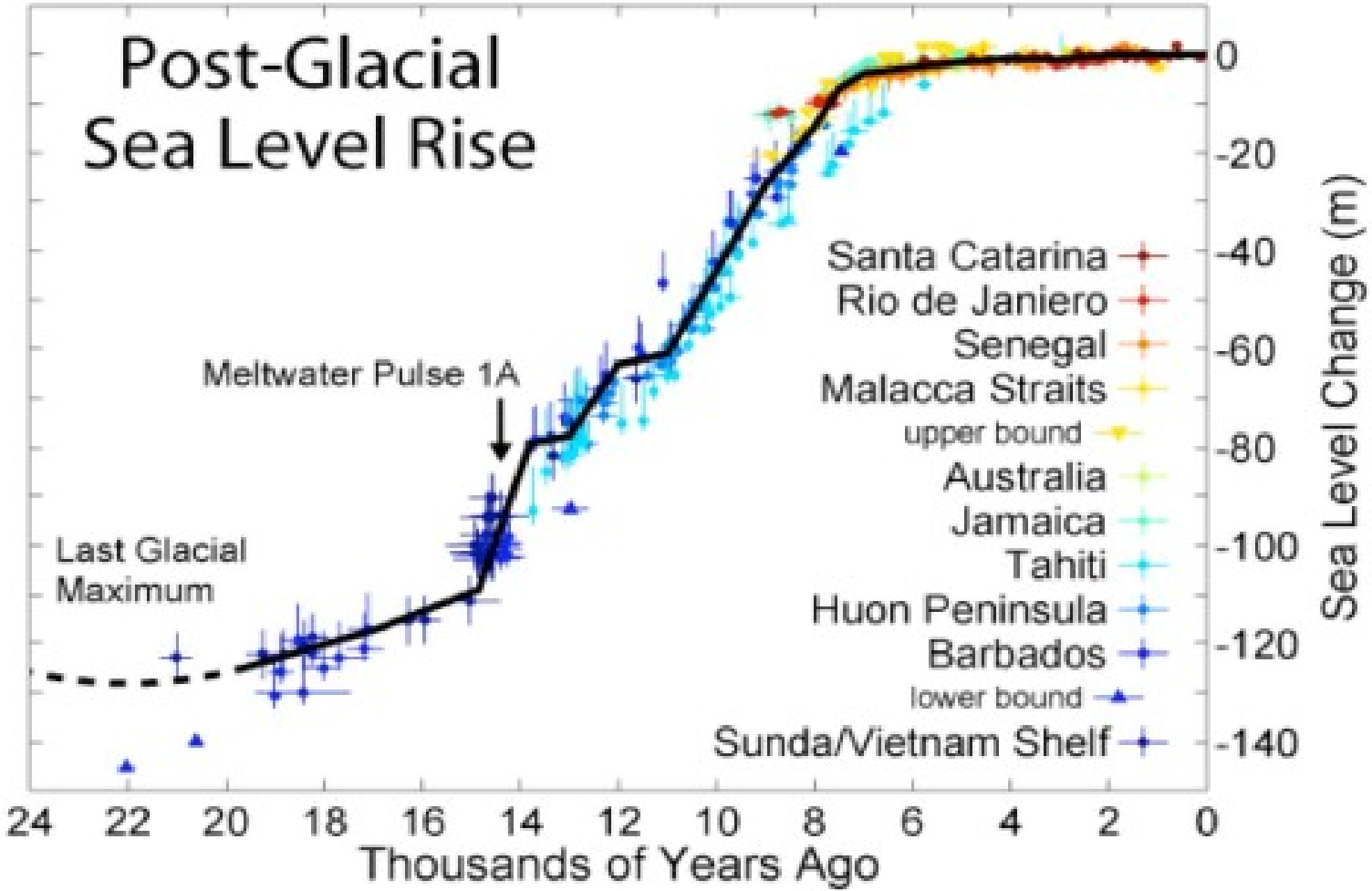


Thickness (m)

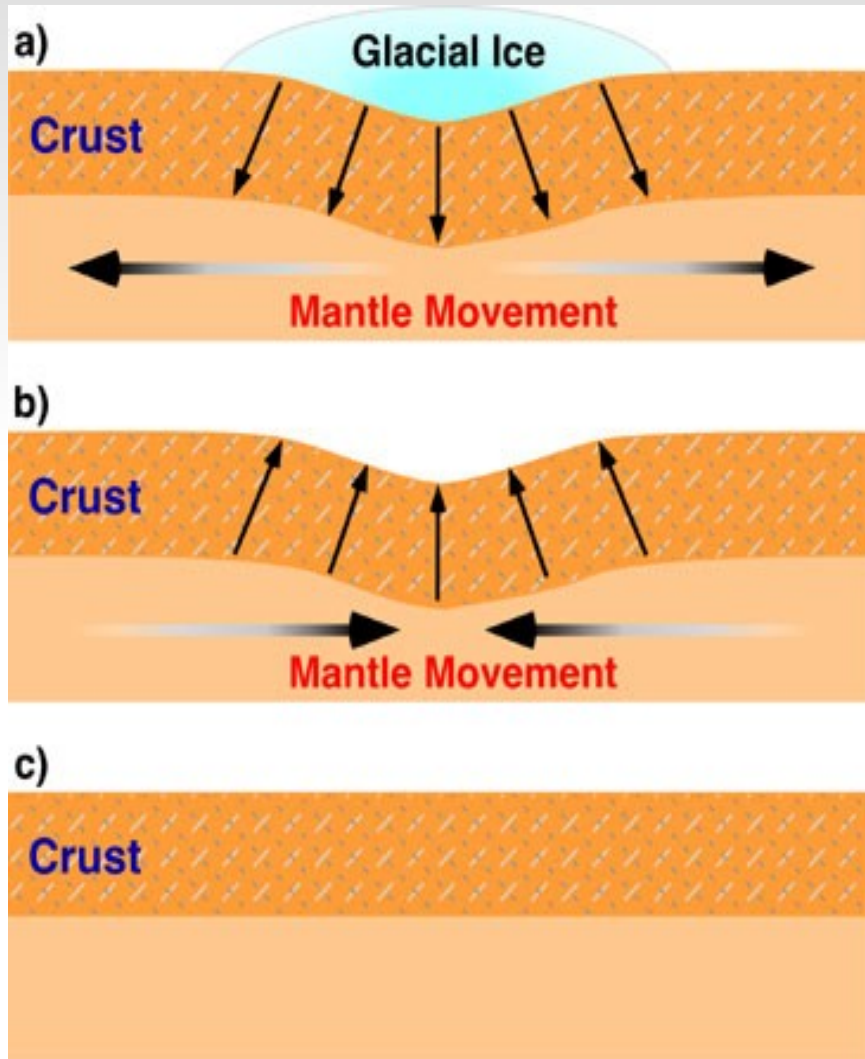


Times Atlas projection centered on 0000E

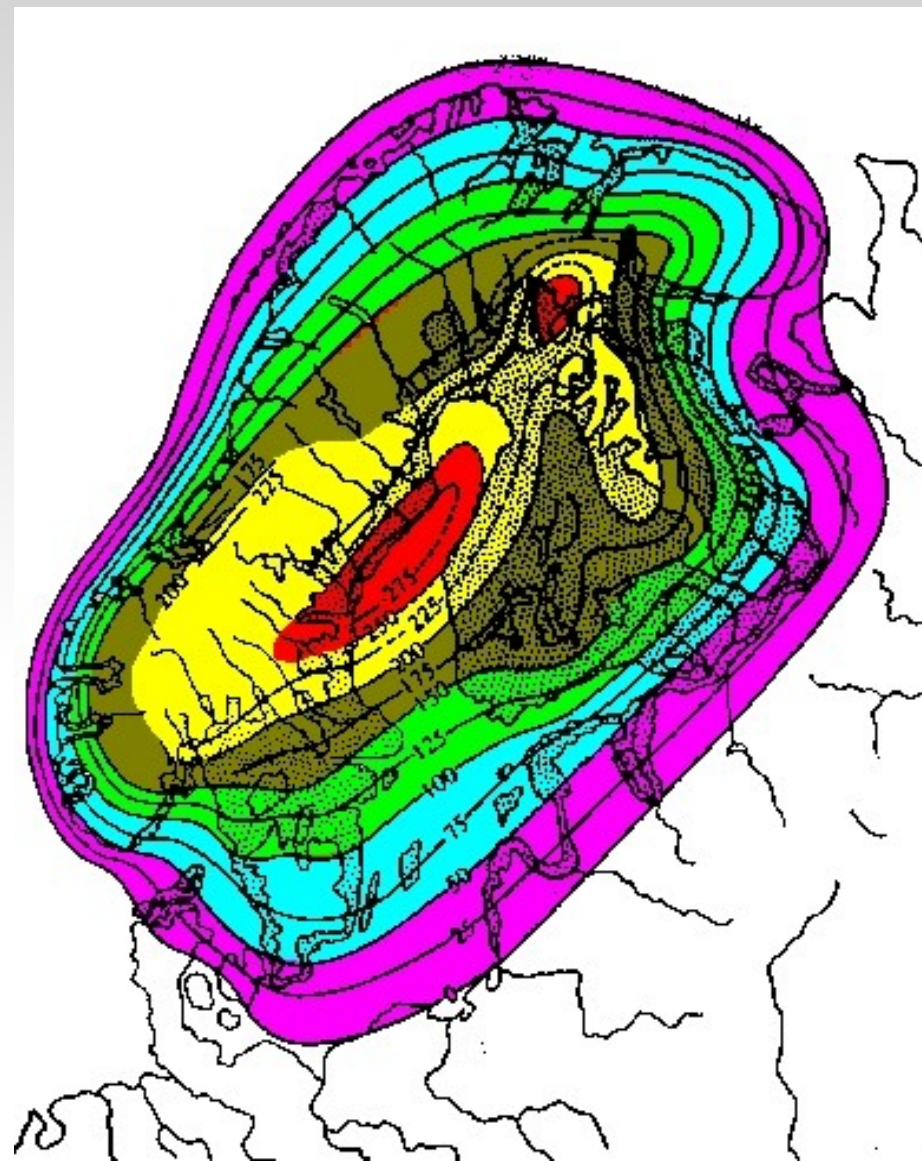
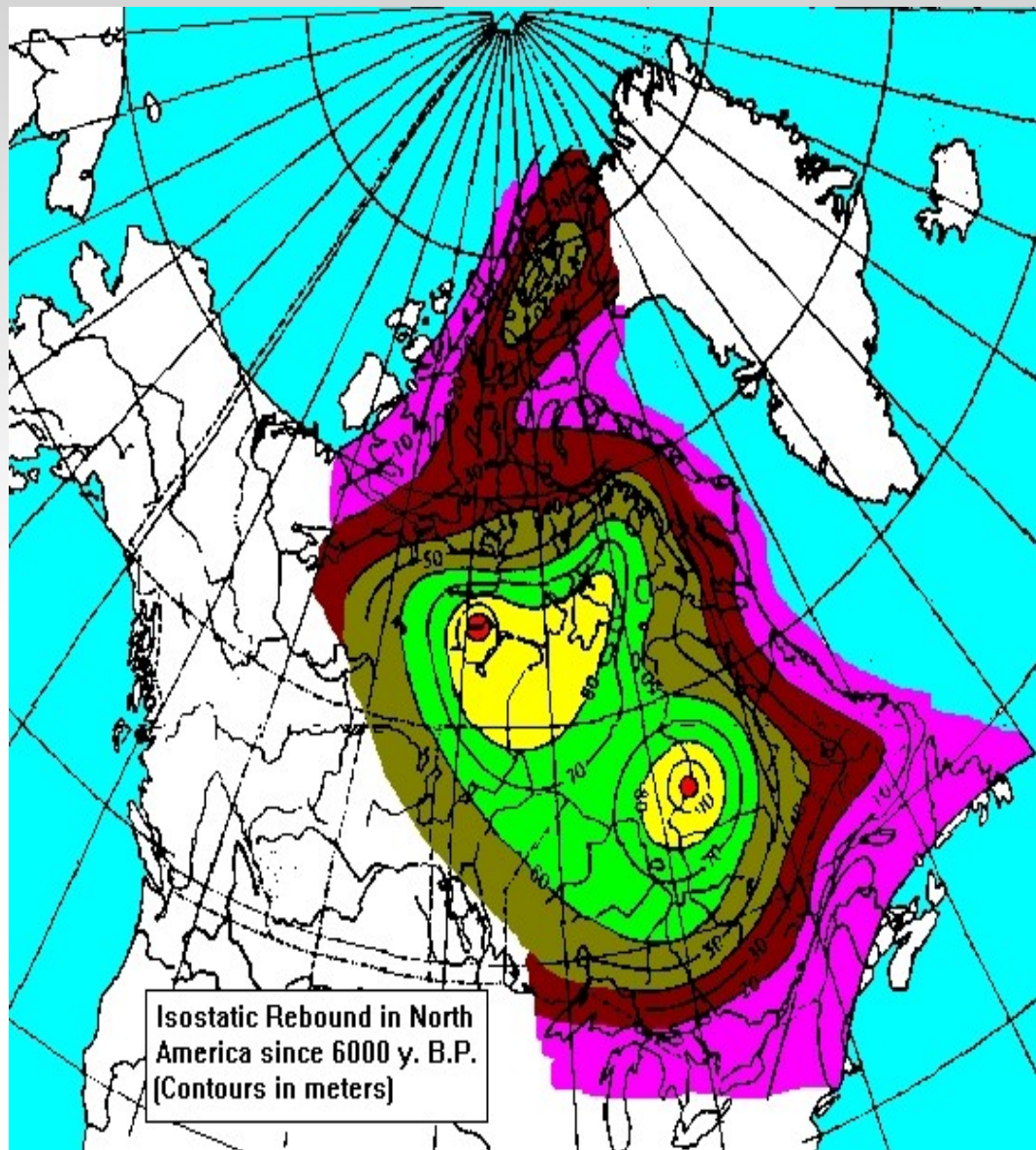
# Aumento del nivel del mar global en la ultima terminacion



# Rebote isostático de los continentes

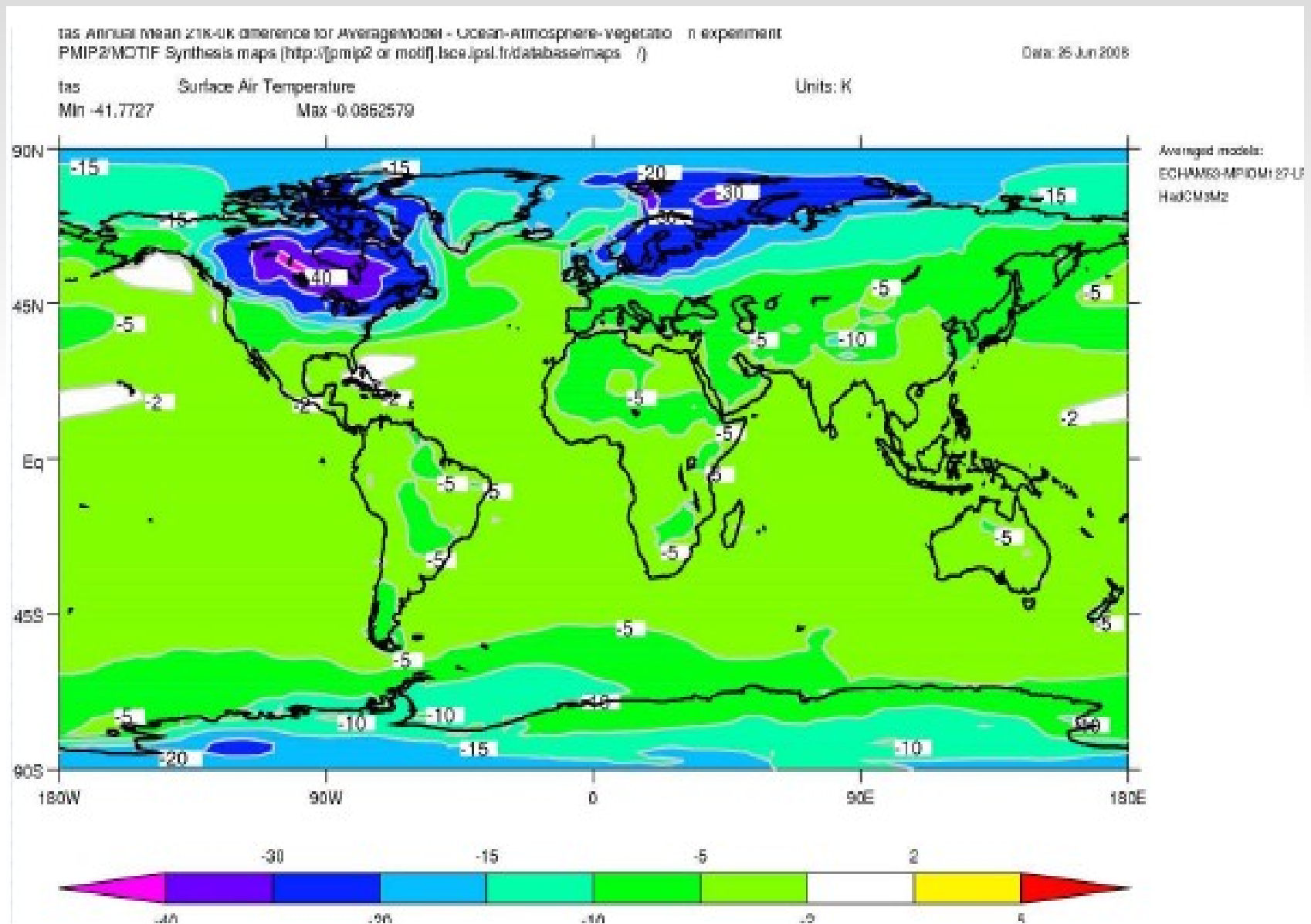


- La corteza terrestre “flota” sobre el manto.
- El peso de los glaciares deforma la corteza empujandola hacia abajo.
- Al derretirse los glaciares la corteza tiende a subir hasta un nuevo nivel de equilibrio.

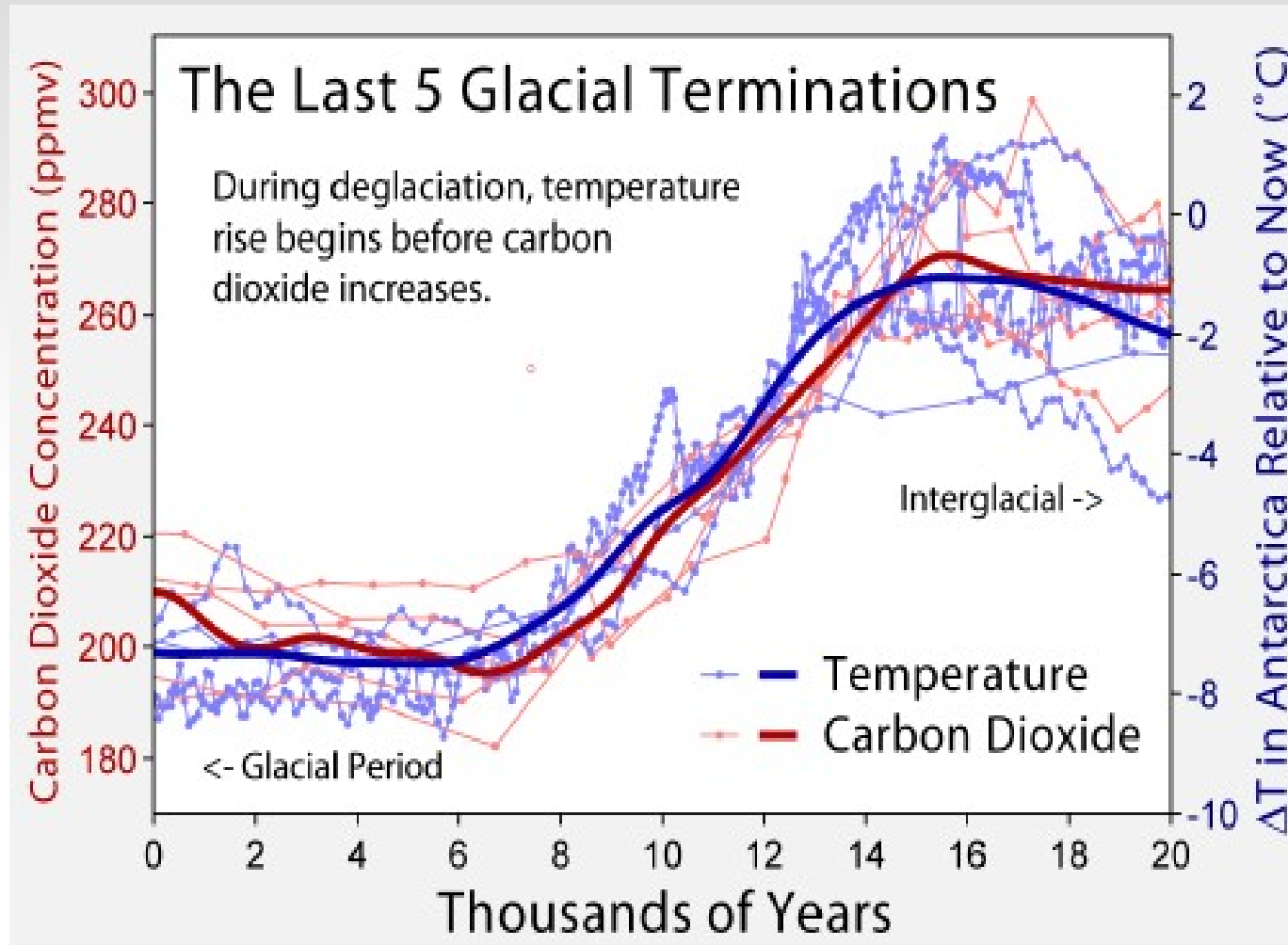




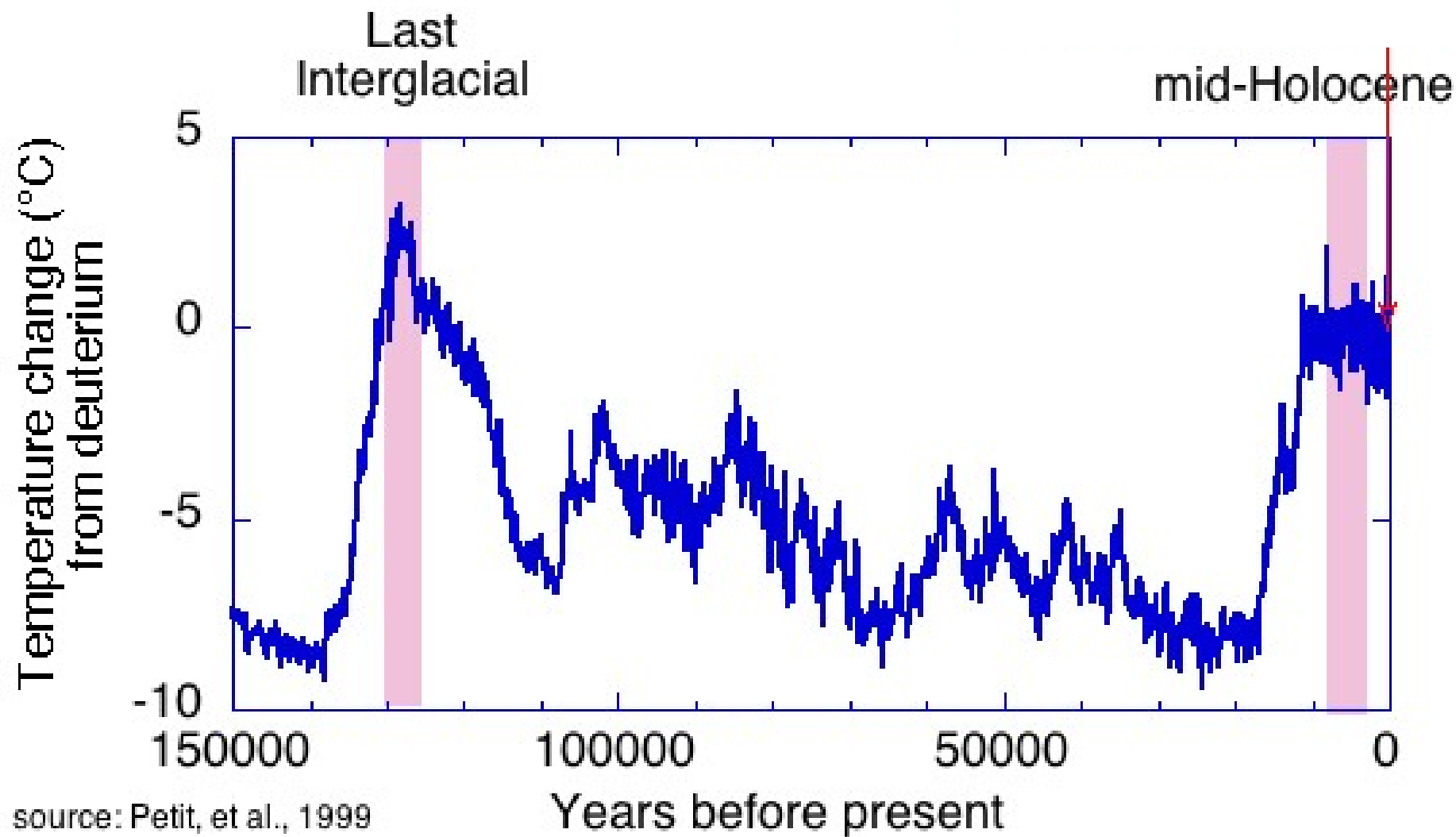
# Cambios en la temperatura de superficie del aire simulados



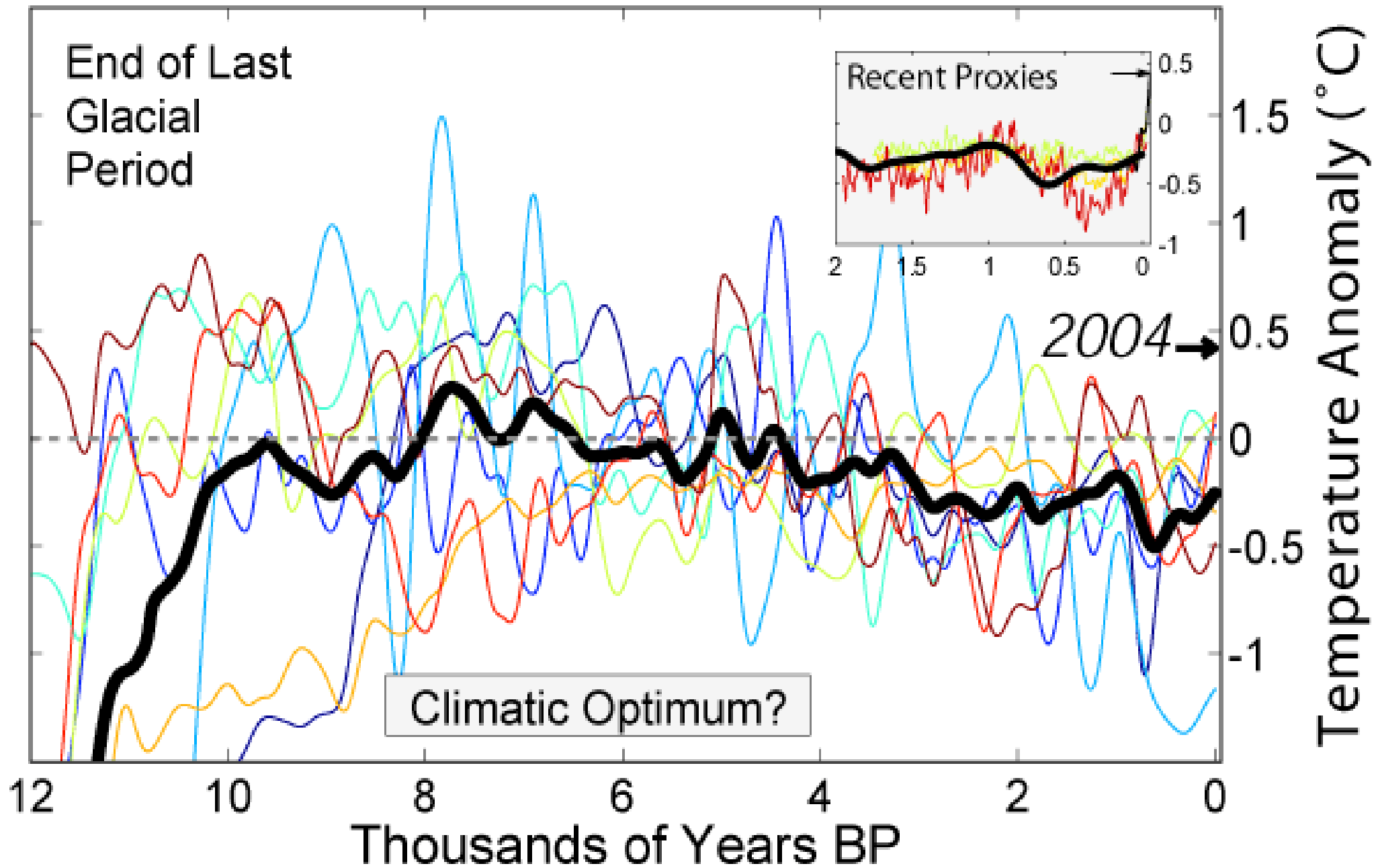
# Terminaciones de las ultimas 5 Edades de Hielo



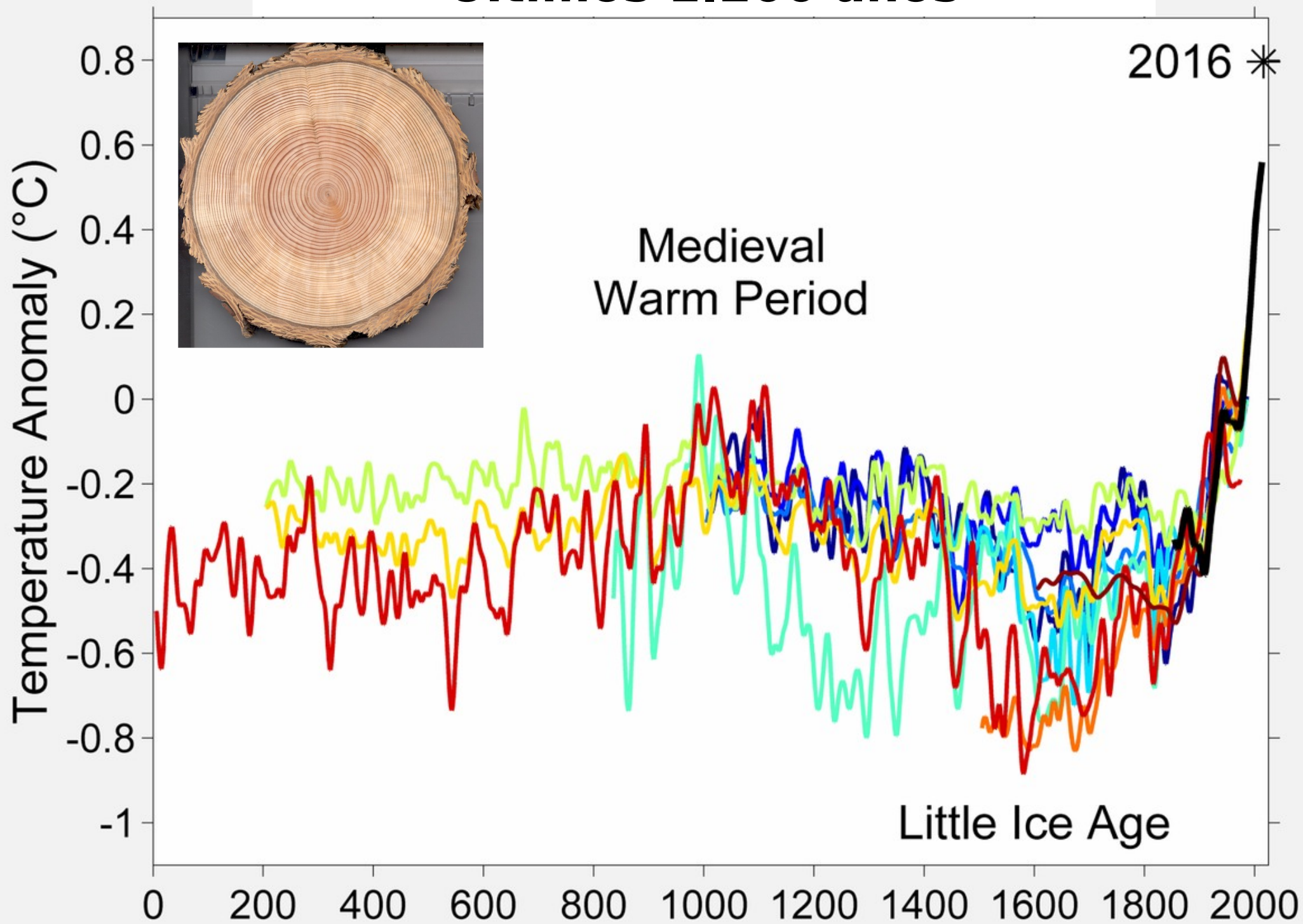
Las terminaciones toman alrededor de 10.000 años y son procesos “discontínuos” con cambios rápidos.

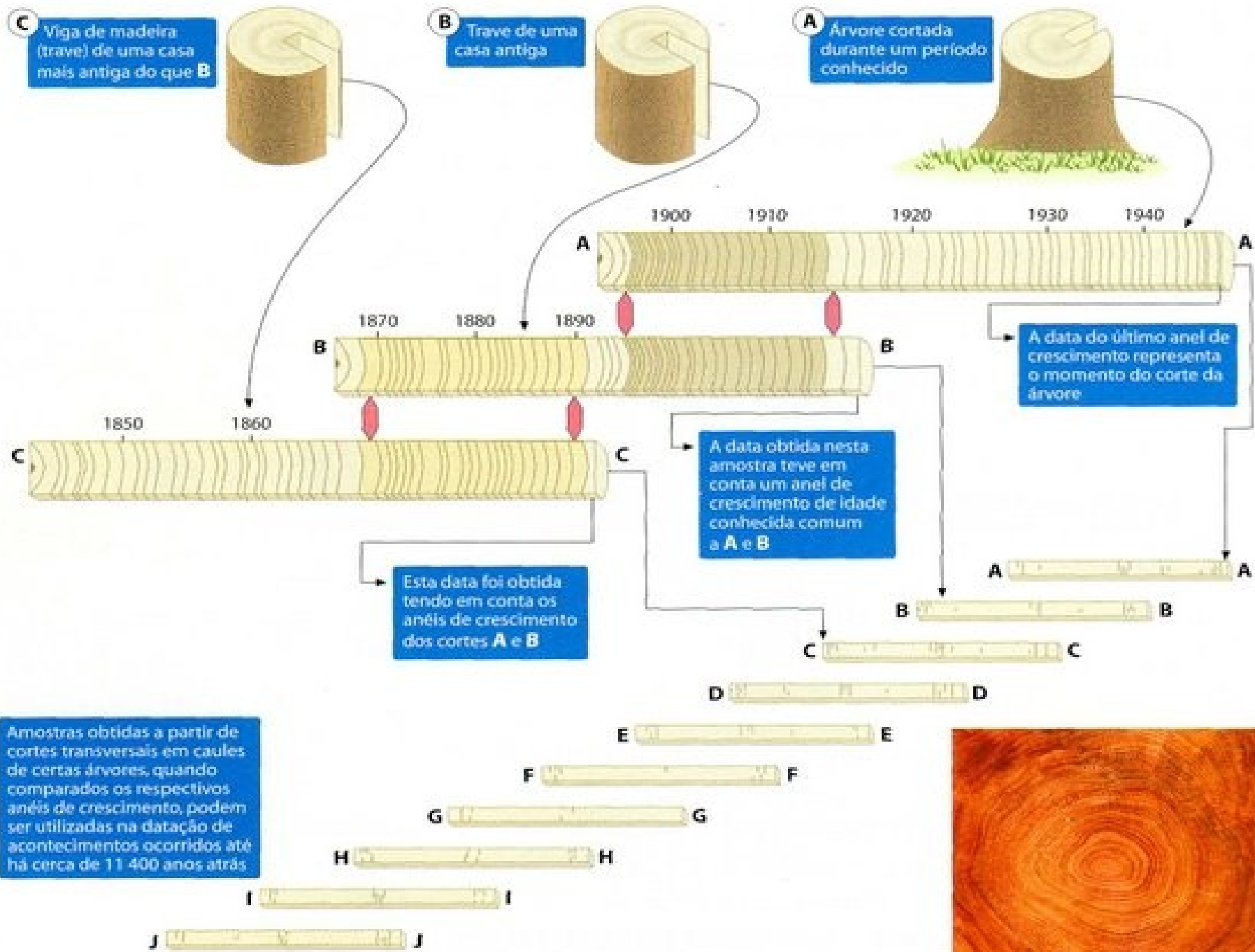


# Holocene Temperature Variations



# Últimos 1.200 años

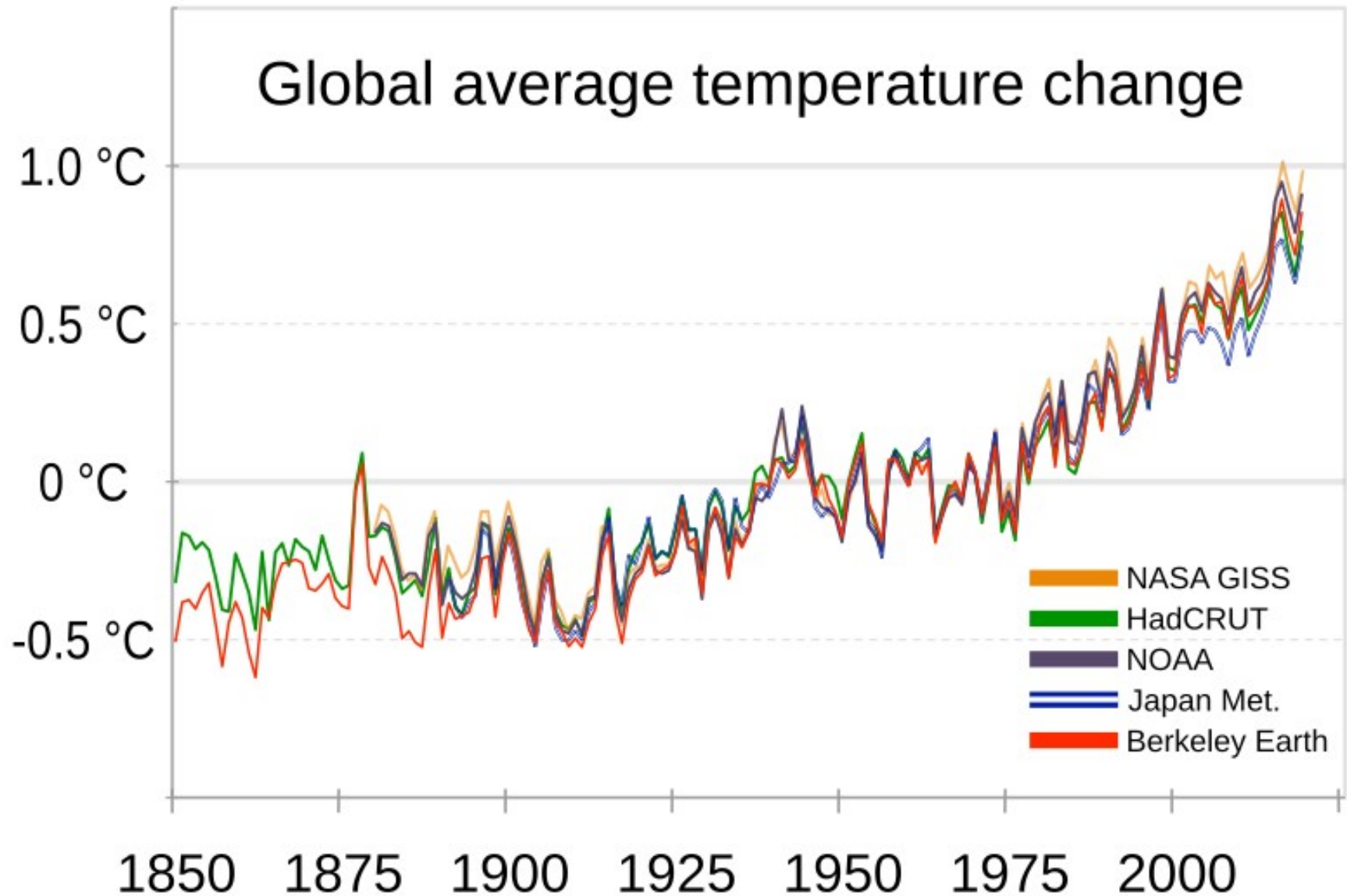




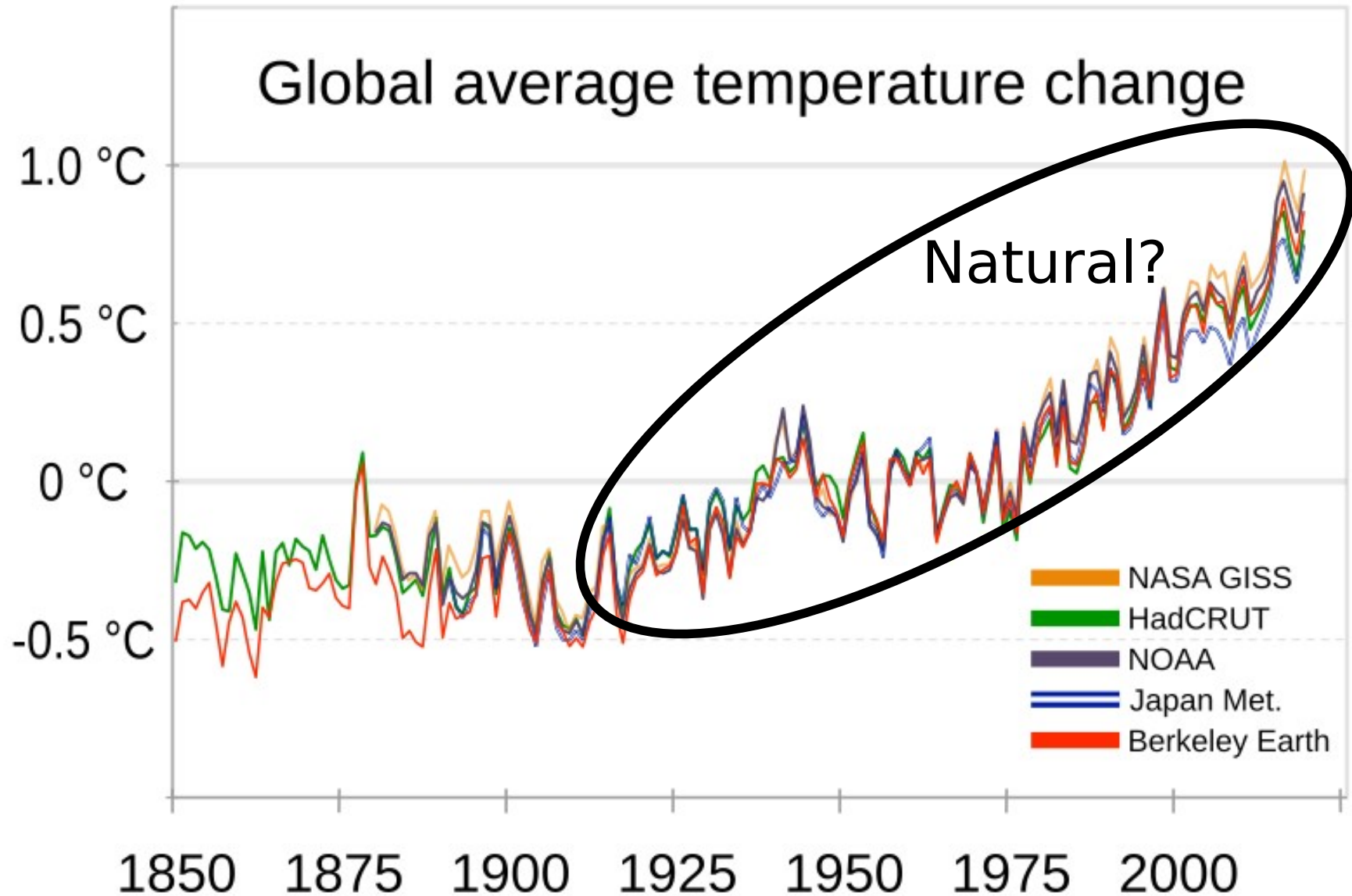
# Dendrocronologia



# Registro instrumental

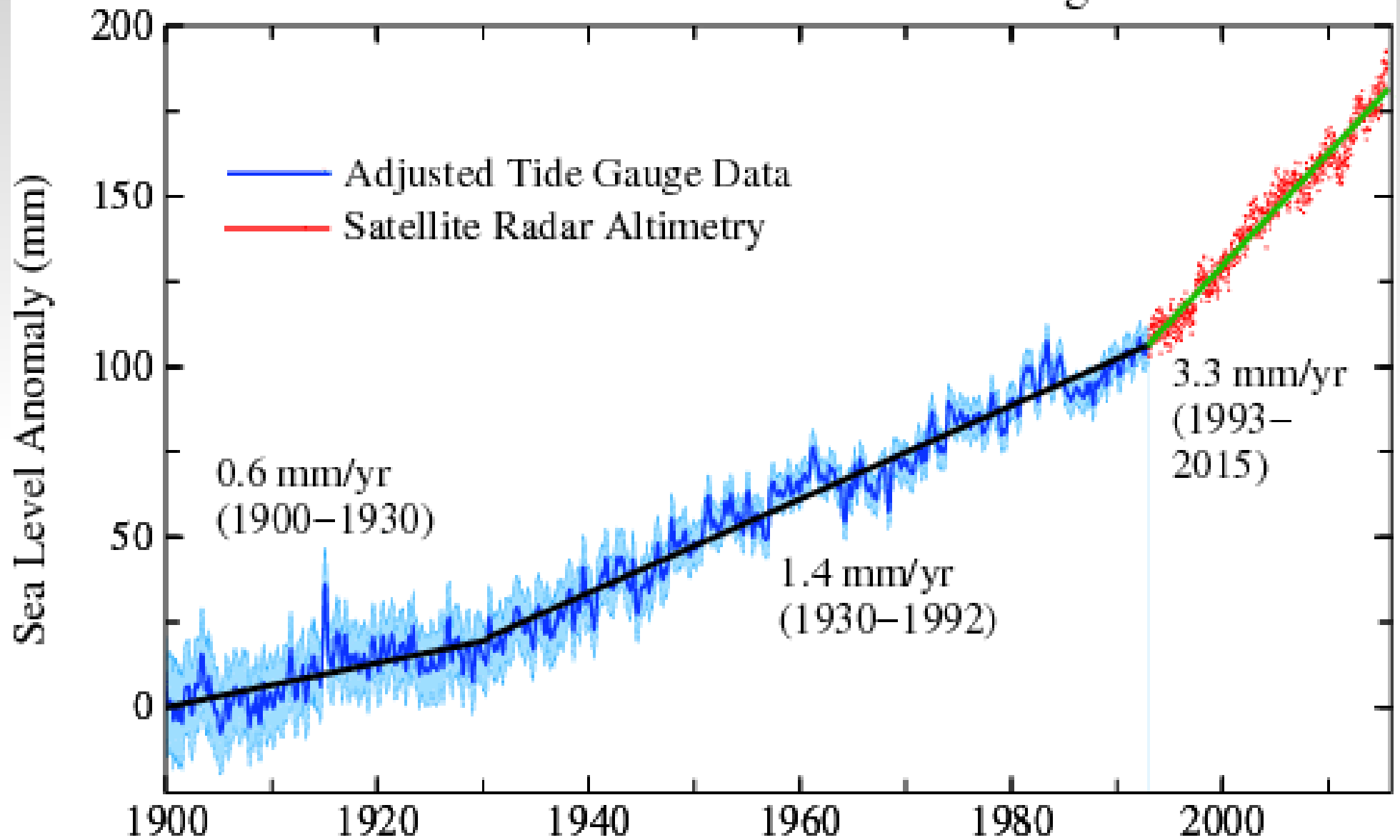


# Registro instrumental



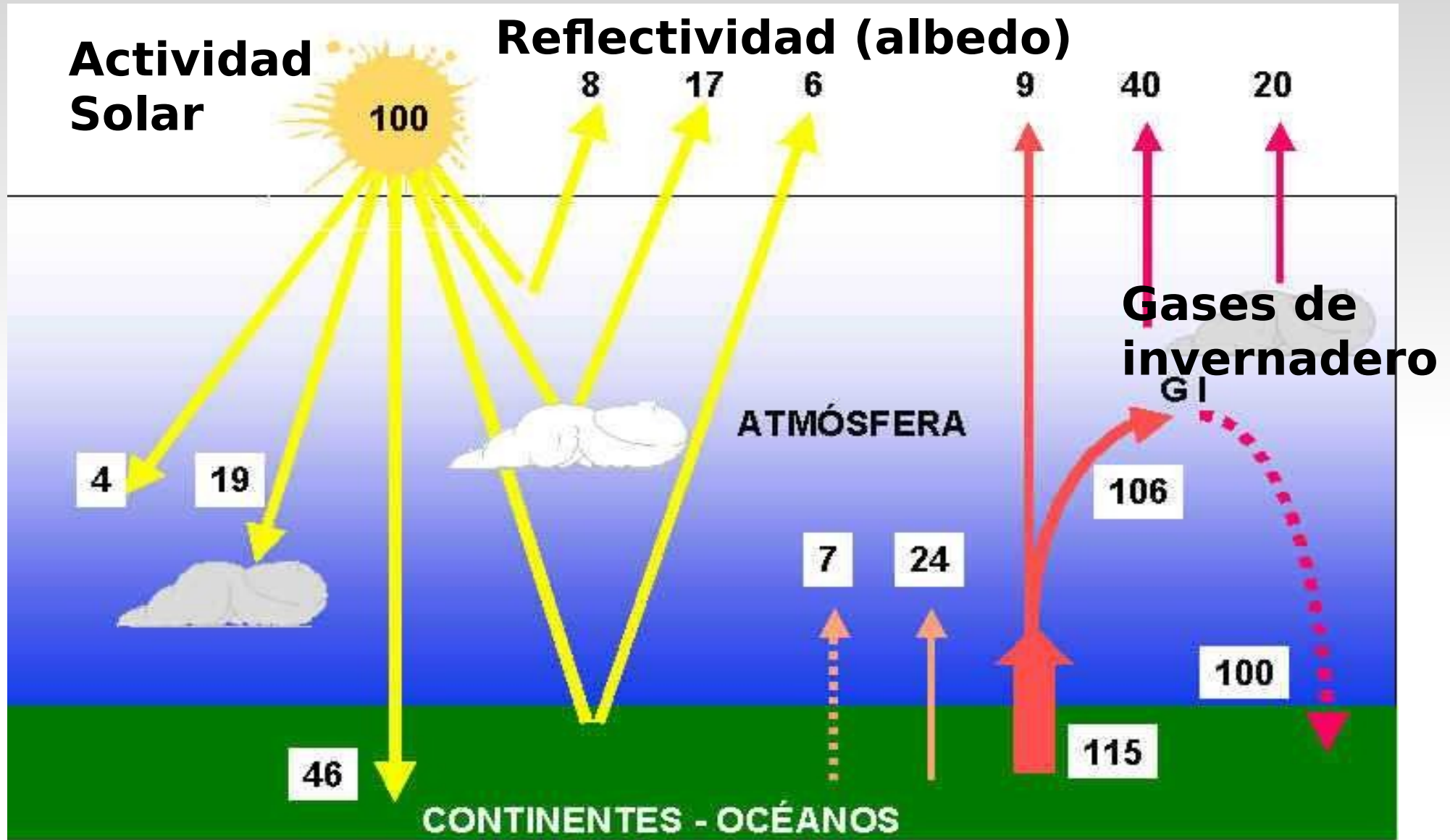


# Global Mean Sea Level Change







# Cambio climático

# El balance radiativo depende de:



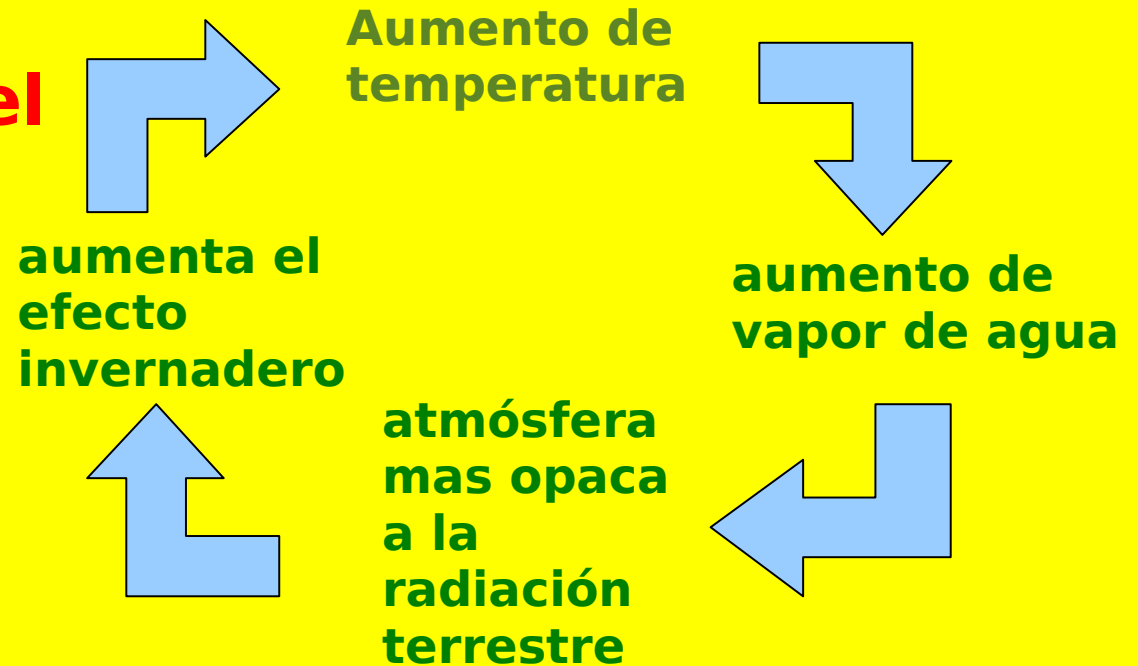
## ESQUEMA DEL BALANCE DE CALOR DEL SISTEMA CLIMÁTICO

-  RADIACIÓN TERRESTRE O DE ONDA LARGA
-  FLUJO DE CALOR SENSIBLE
-  RADIACIÓN SOLAR O DE ONDA CORTA
-  FLUJO DE CALOR LATENTE

# Algunas retroalimentaciones que aumentan la perturbacion inicial

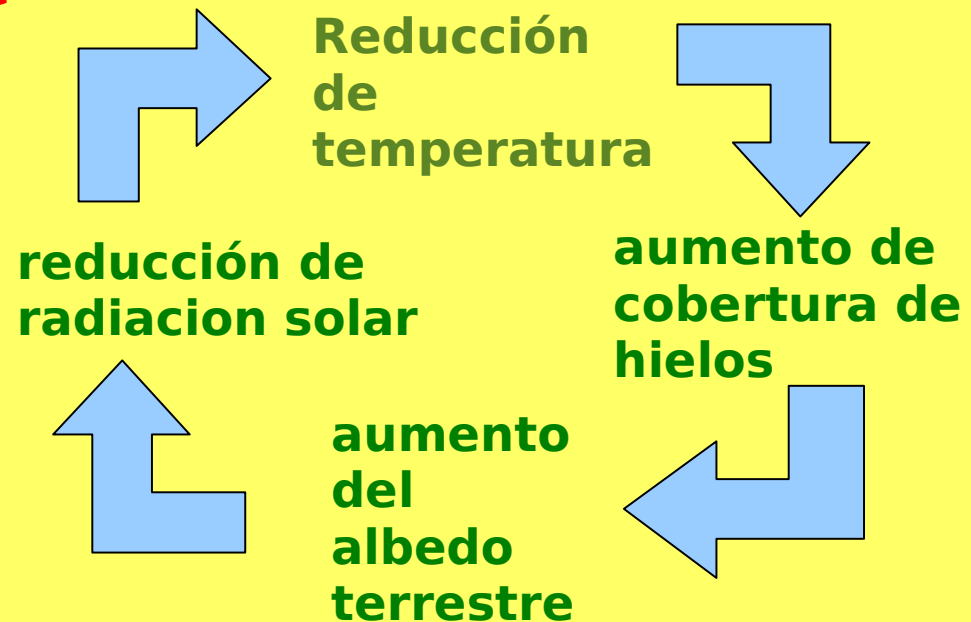
## Retroalimentación del vapor de agua

- Si este proceso no tiene límite puede evaporar todo el océano.
- La redistribución de vapor de agua cambia las nubes!



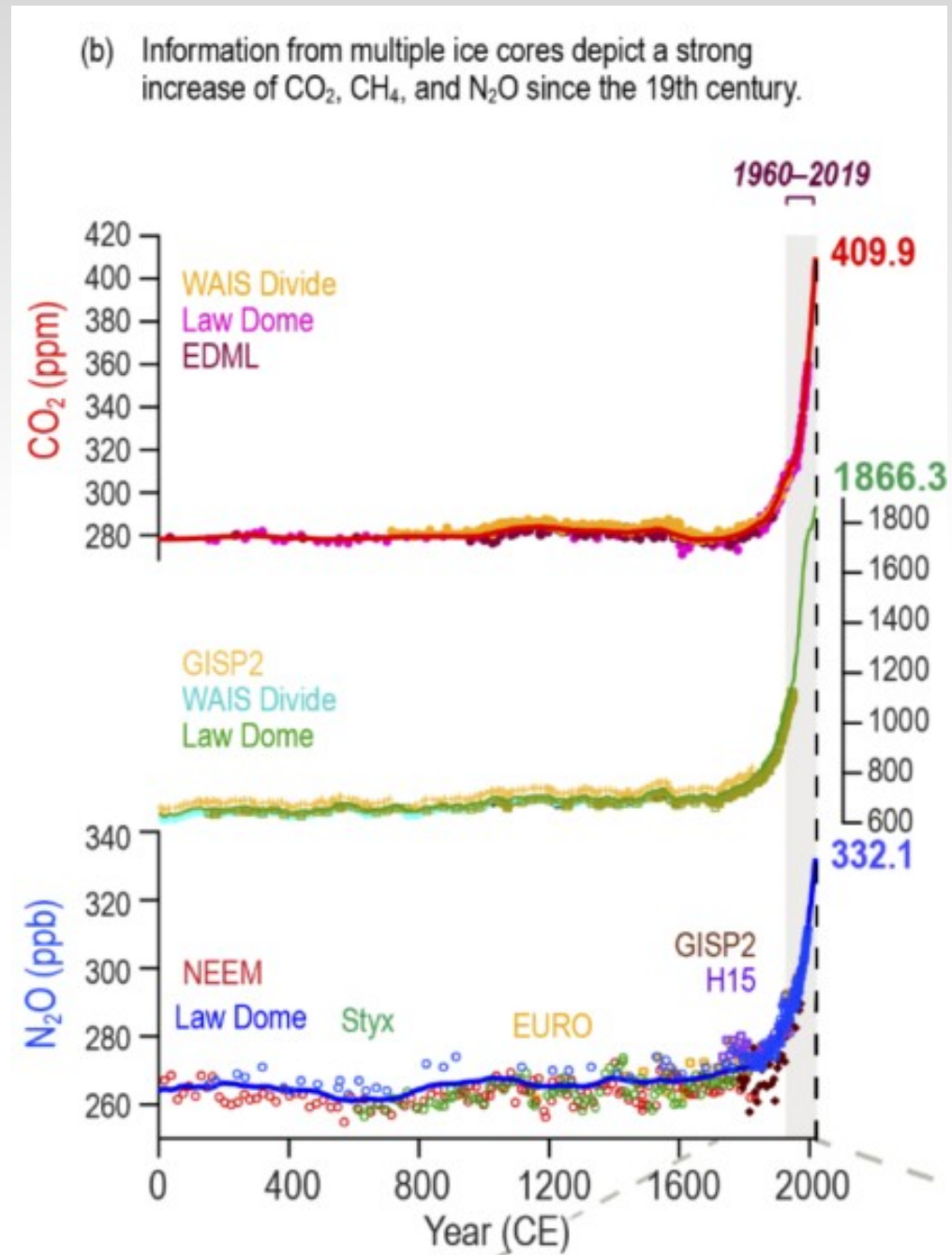
## Retroalimentación de hielo-albedo

- Si este proceso no tiene límite puede cubrir a toda la Tierra con hielo "Snowball Earth" (700Ma).



# Gases de invernadero

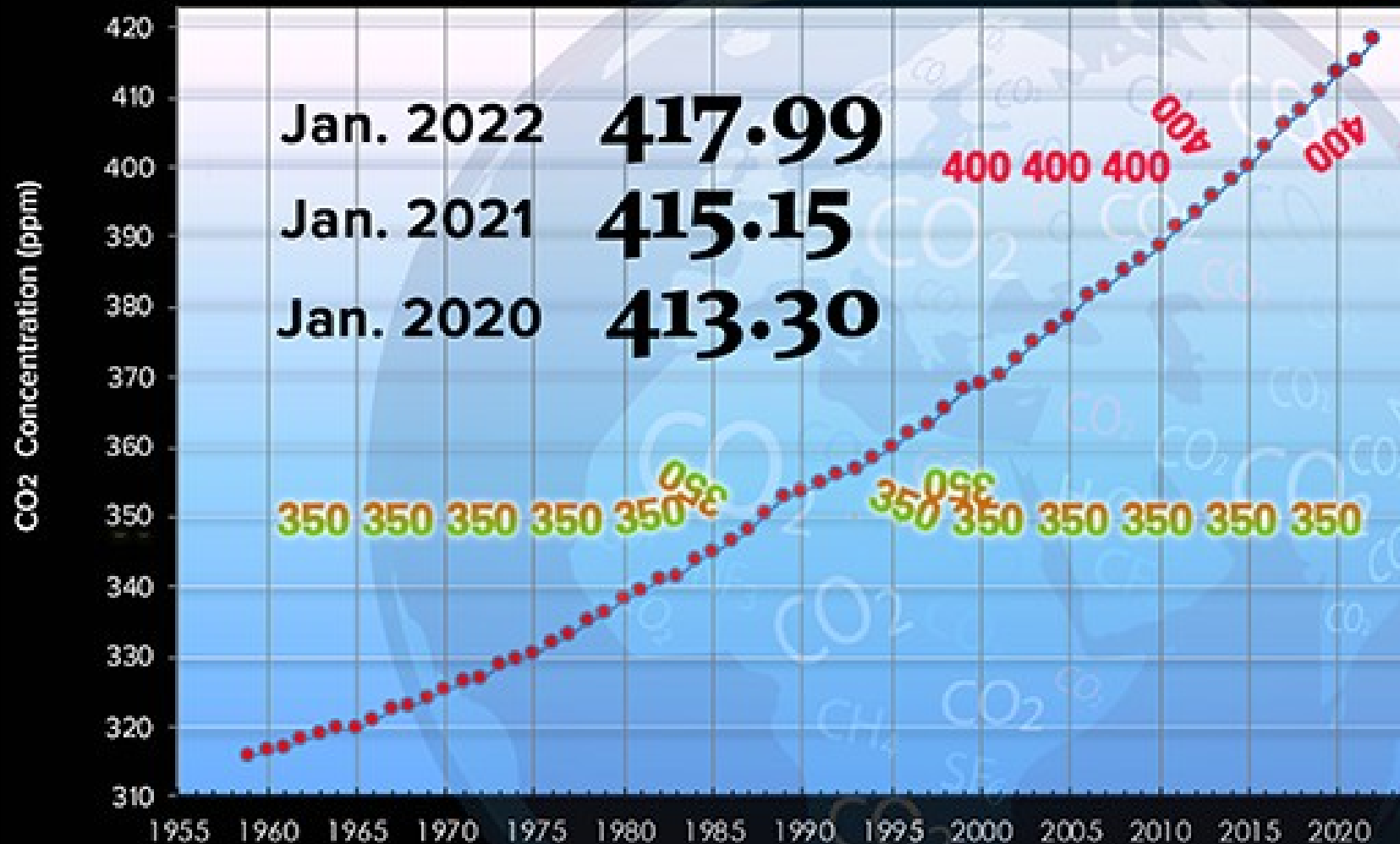
- Los más importantes son: vapor de agua,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , y halocarbonos (grupo de gases conteniendo Cl, Br, F).



January 1959 - January 2022

# Atmospheric CO<sub>2</sub>

January CO<sub>2</sub> | Year-on-Year | Mauna Loa Observatory



**CO<sub>2</sub>-earth**

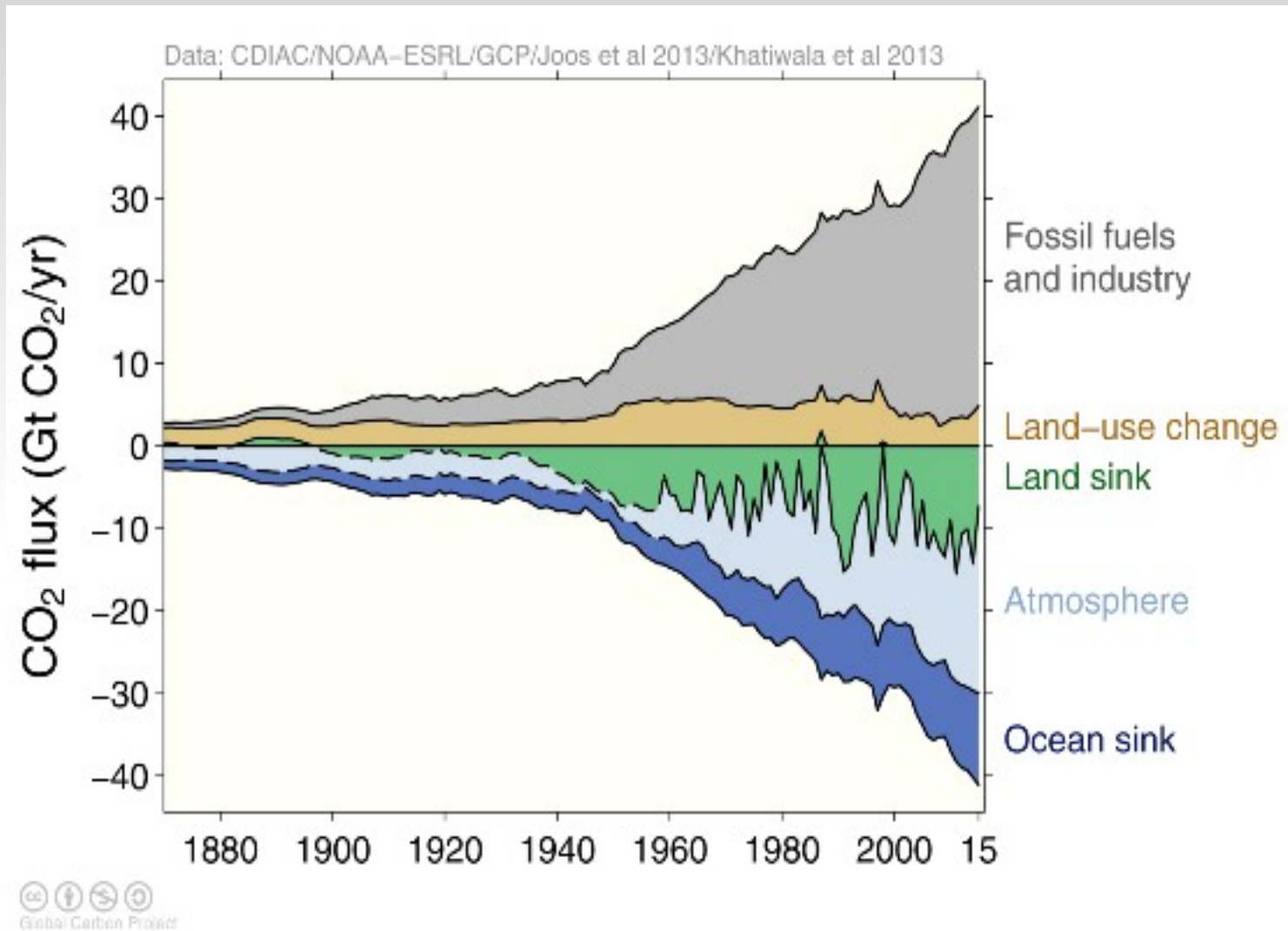
Featuring Scripps data of February 4, 2022

# Global warming potential (100 años)

Chemical	GWP	Atmospheric Lifetime
CO <sub>2</sub>	1	50-200
Methane	21	9-12
N <sub>2</sub> O	310	120
HFCs	140-11,700	2-264
SF <sub>6</sub>	23,900	3,200
PFCs	6,500-9,200	3,200-50,000

Source: US E.P.A. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 - 2004*

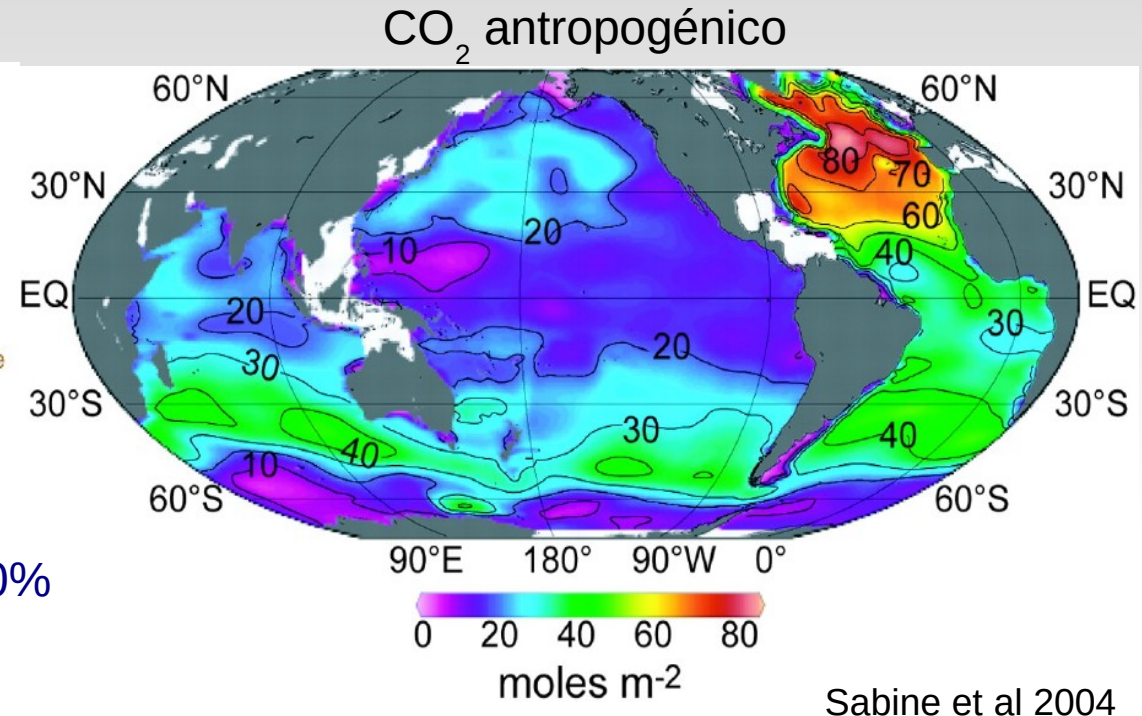
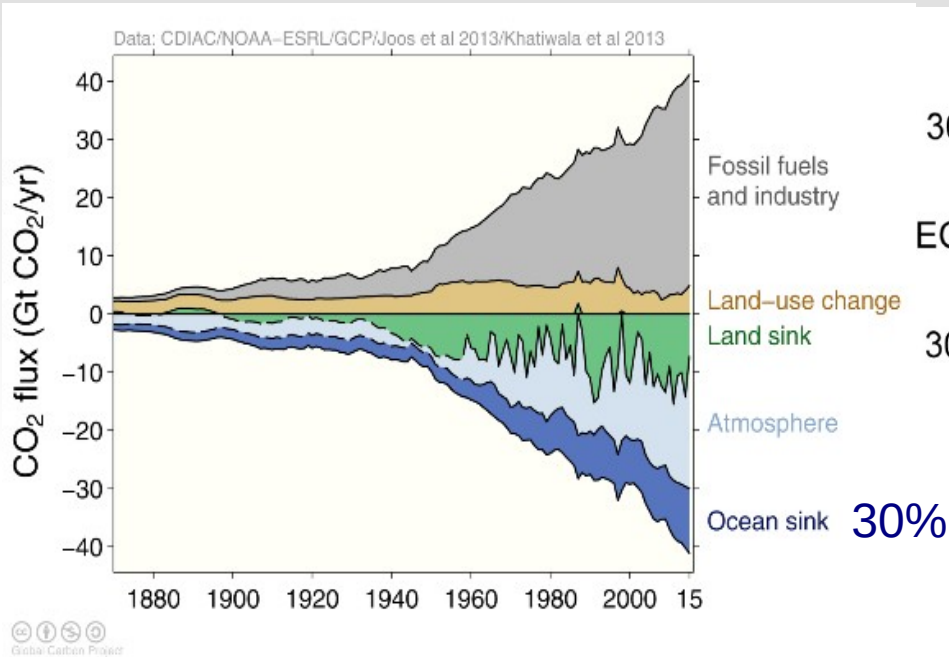
# ¿A donde va el CO<sub>2</sub> emitido?



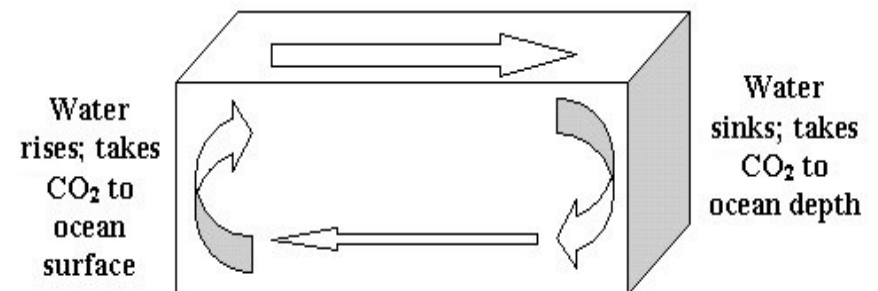
La mitad del CO<sub>2</sub> va a la atmósfera y la otra mitad es absorbida sobre todo por el océano.



# ¿A donde fue el CO<sub>2</sub> antropogénico?



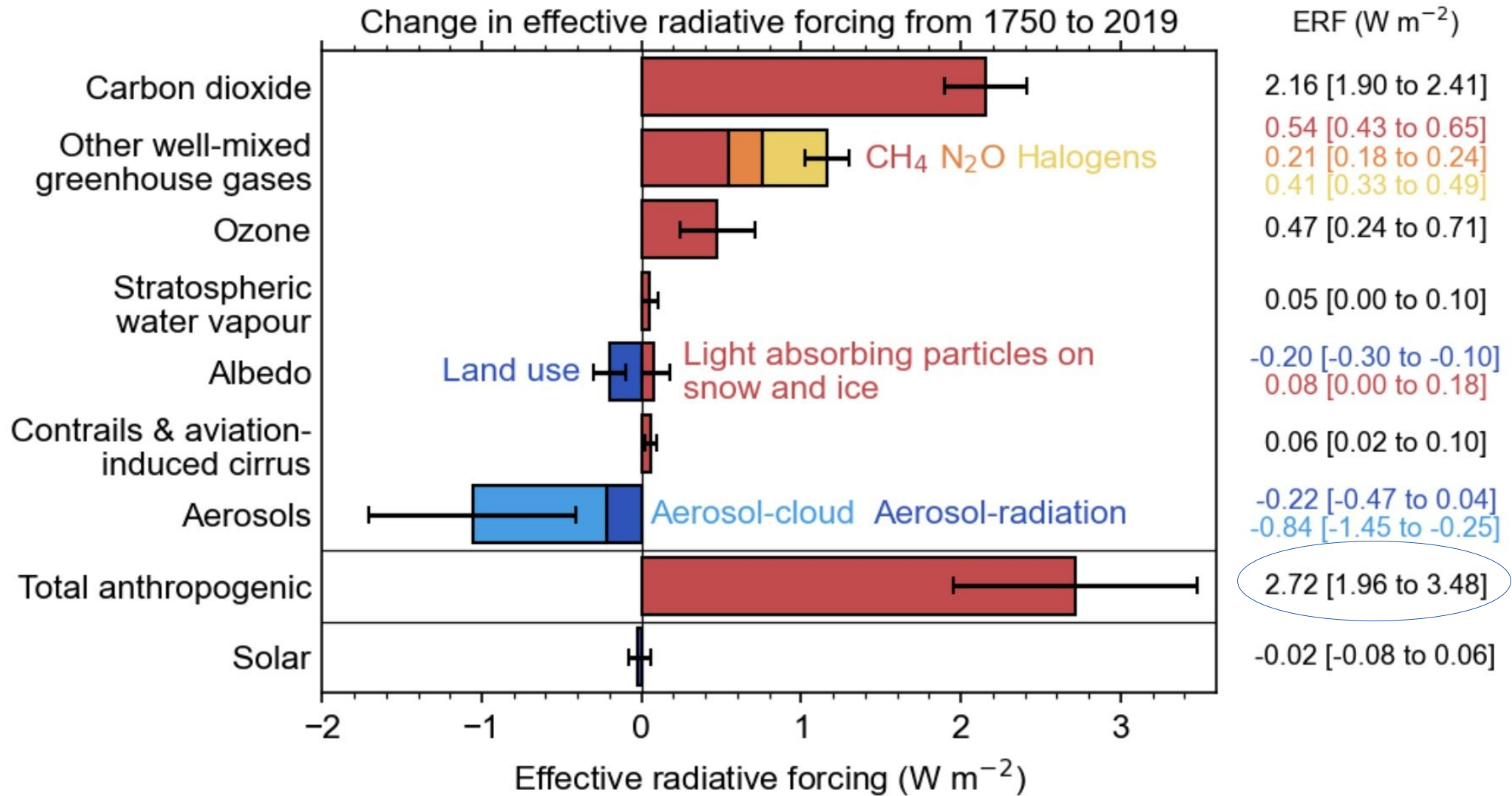
- Máximos CO<sub>2</sub> están asociados a formación de aguas profundas en el Atlántico norte e intermedias en el hemisferio sur.
- Si el océano no hubiera absorbido el CO<sub>2</sub>, ahora habría 55 ppm mas en la atmósfera → 40% lo absorbió el océano Austral.



# Forzante radiativo

- Cambio neto de radiación en la tropopausa luego de que la estratósfera llega al equilibrio (pero manteniendo la Temp de superficie terrestre constante).

# Componentes de forzante radiativo



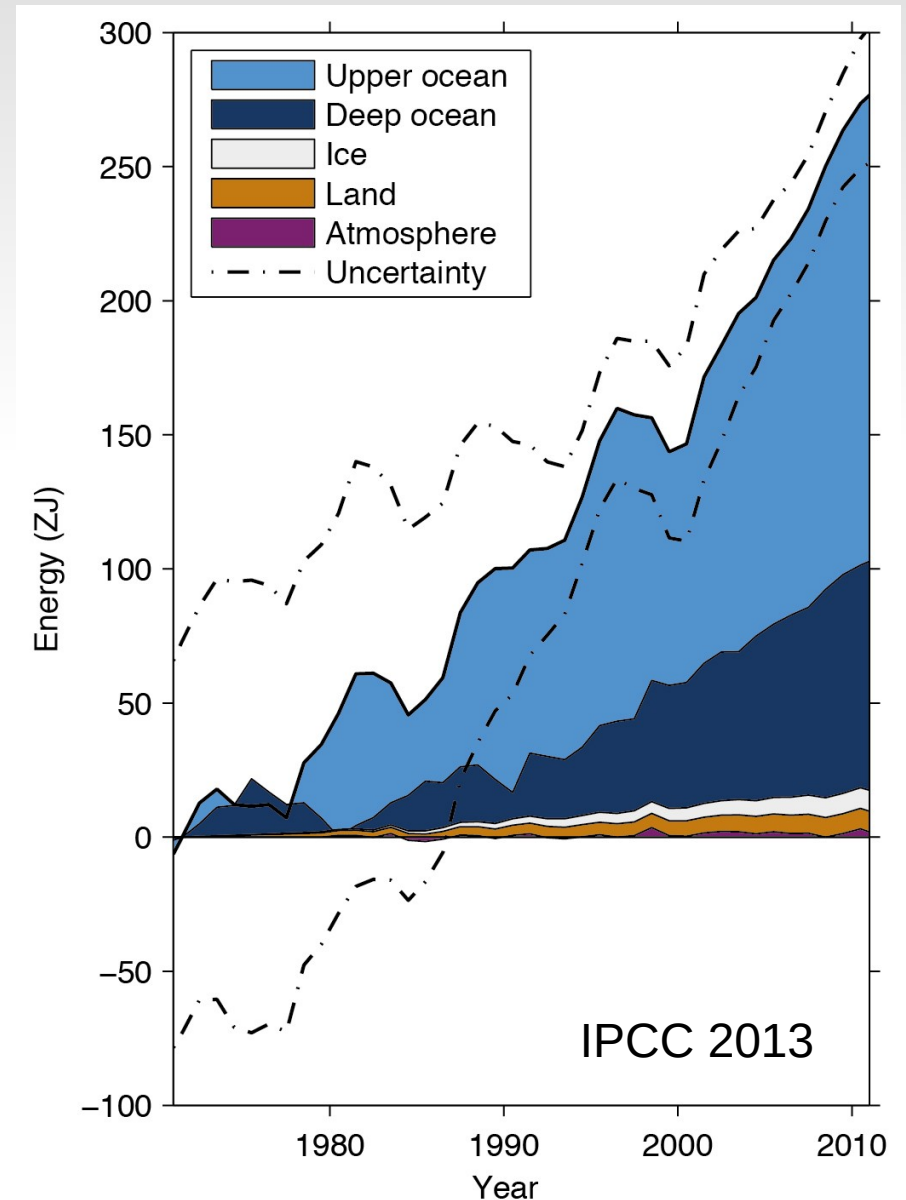
# Energía absorbida por los océanos

El océano global regula los flujos de energía y es el mayor reservorio de calor debido a su gran inercia térmica y transporte.

Más del 90% del exceso de energía antropogénica está en el océano.

Esa energía se evidencia en un calentamiento de los primeros 2000 m del océano.

Si todo el calor hubiera ido a la atmósfera ésta se hubiera calentado decenas de grados!



# Forzante radiativo

- Cambio neto de radiación en la tropopausa luego de que la estratósfera llega al equilibrio (pero manteniendo la Temp de superficie terrestre constante).
- El forzante radiativo puede relacionarse linealmente con un aumento de temperatura de superficie si se conoce la **sensibilidad climática  $\lambda$**

$$\Delta T_s = \lambda (FR)$$

# Sensibilidad climática

Broad agreement across multiple lines of evidence, supporting a best estimate of equilibrium climate sensitivity of 3°C, with a *likely* range of 2.5°C to 4°C

Equilibrium Climate Sensitivity in IPCC reports

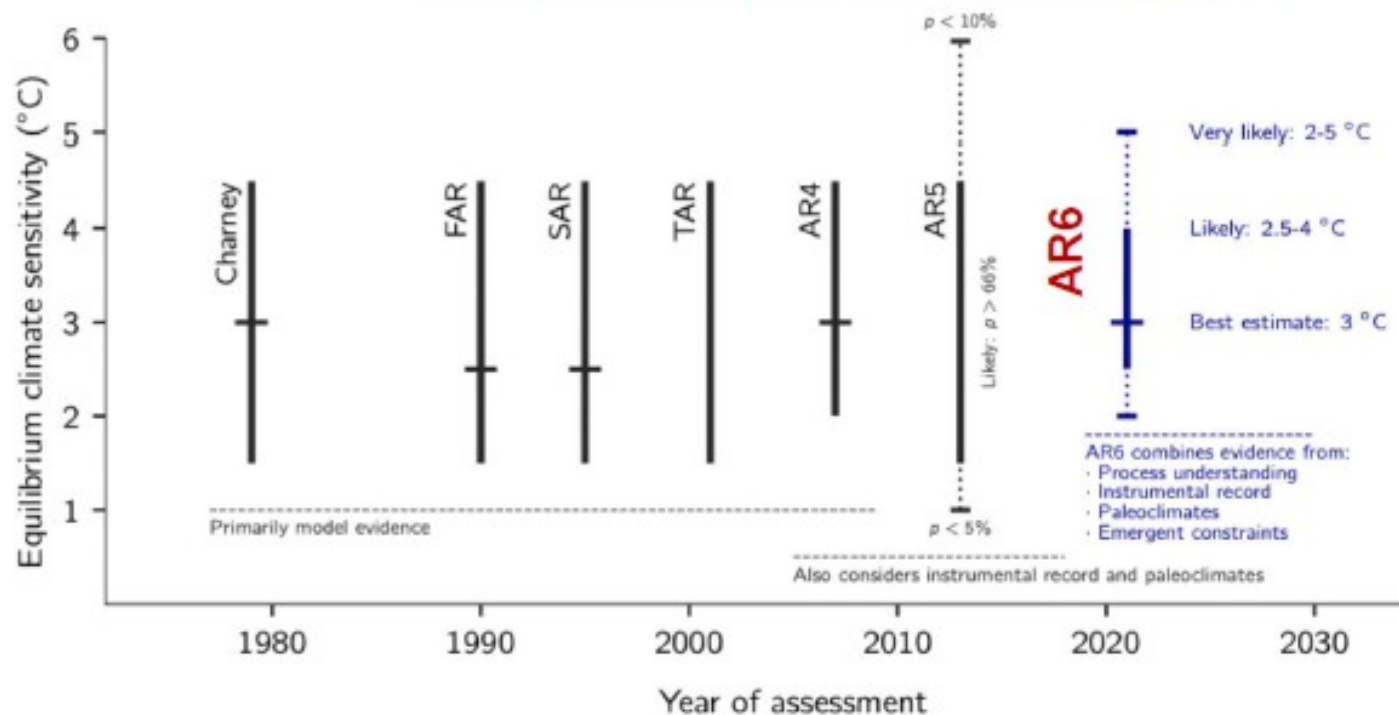
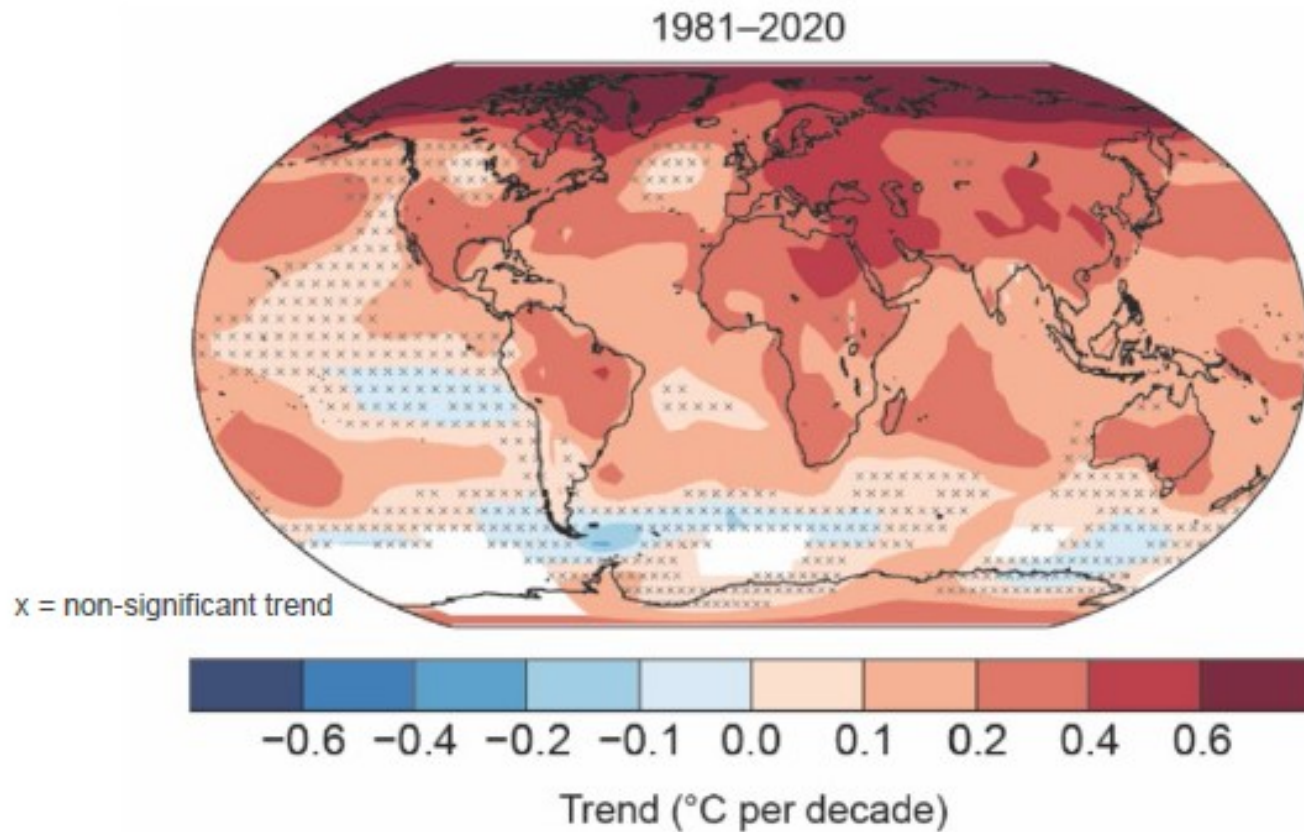


Figure TS.16

**Sensibilidad climática de equilibrio:**  
aumento de T ante una duplicación de concentración de CO<sub>2</sub> respecto a valores pre-industriales (o sea de 280 a 560 ppm)

# Calentamiento es global, pero NO uniforme!!!



Warming occurred at a faster rate after the 1970s compared to the first half of the 21st century.

*Cross-Section Box TS.1, Figure 1*

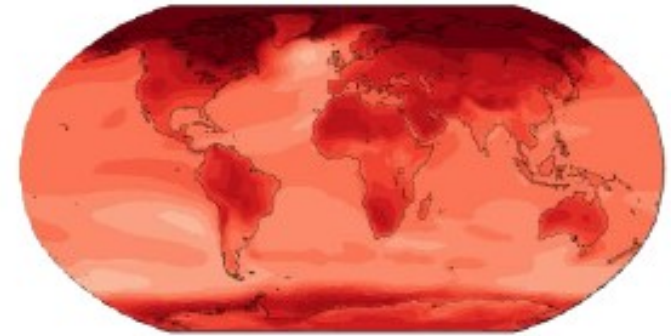
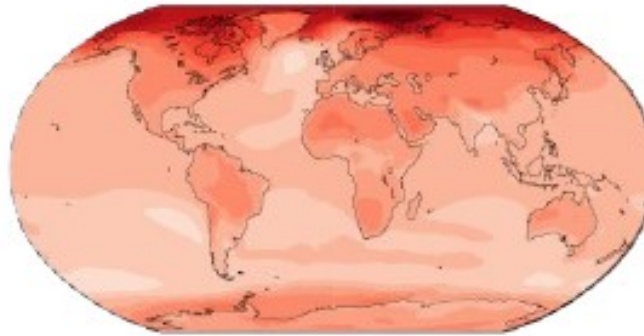
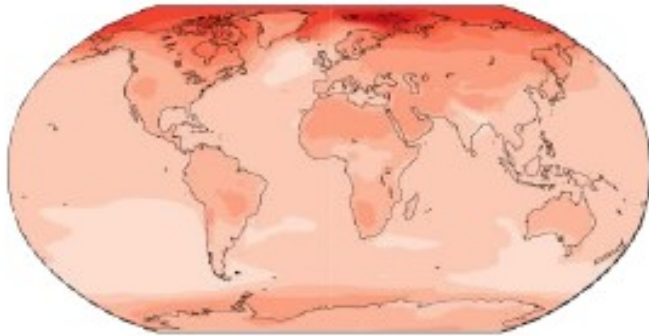
# Escenarios a futuro IPCC AR6

Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

1.5°C

2°C

at 4°C

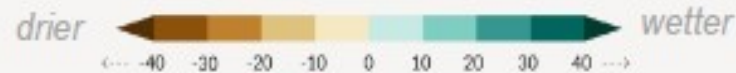
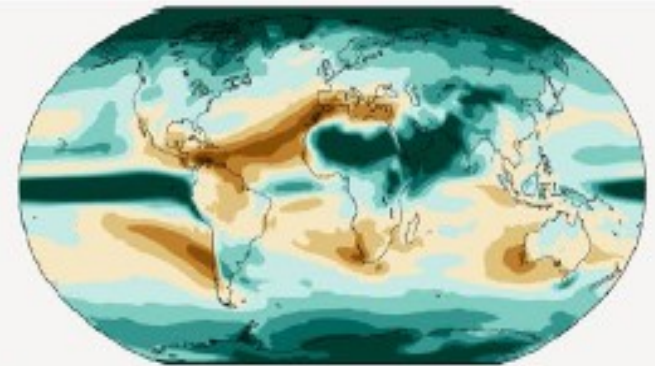
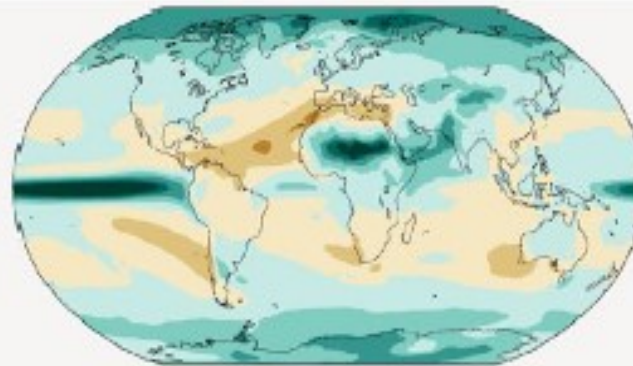
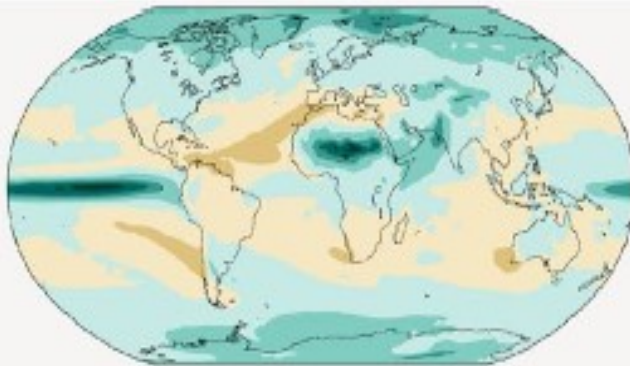


1.5°C

Change in annual precipitation (%)  
relative to 1850-1900

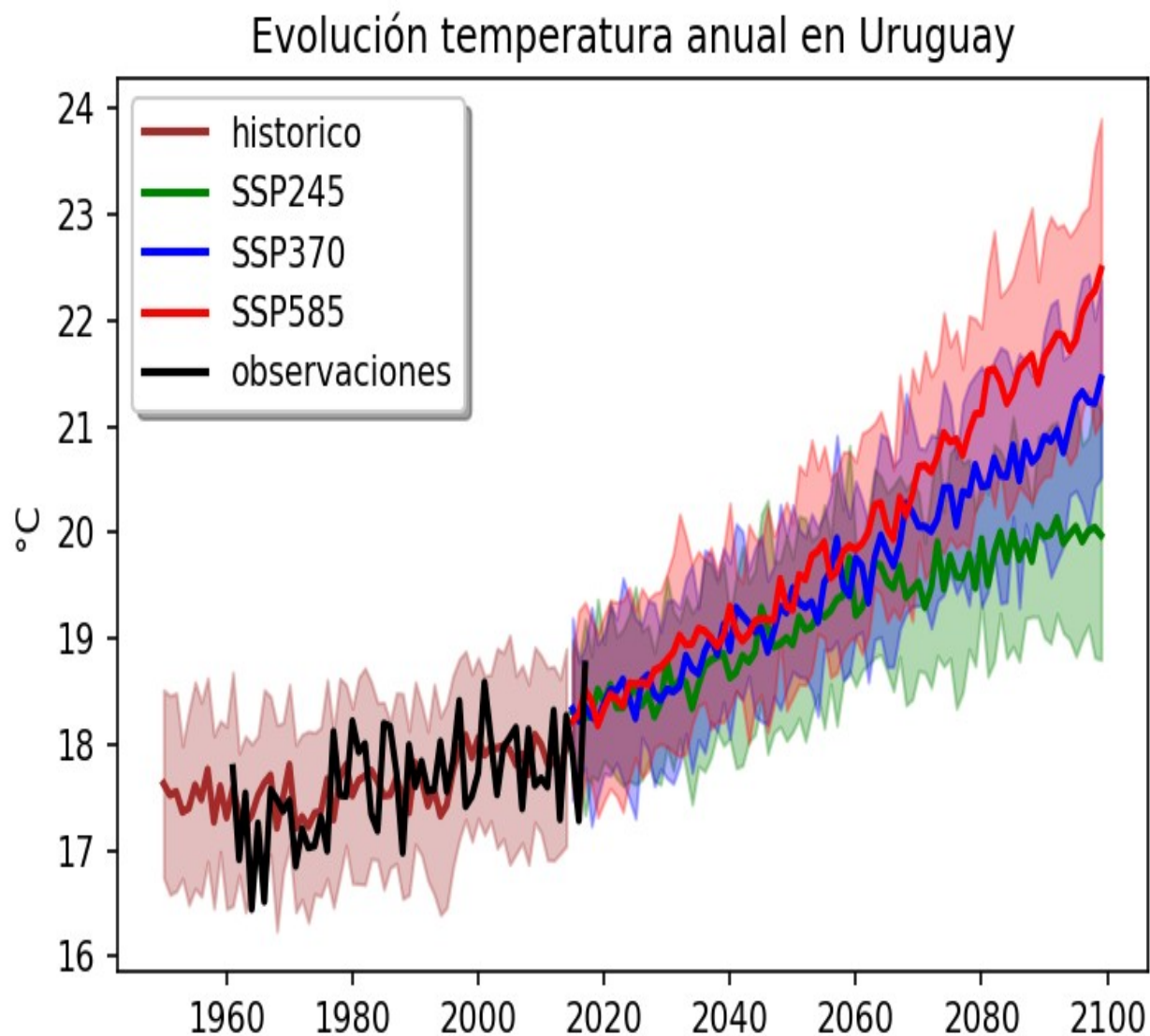
2°C

4°C





# Proyecciones de temperatura (CMIP6)



# Proyecciones de precipitación (CMIP6) - 2020-2044

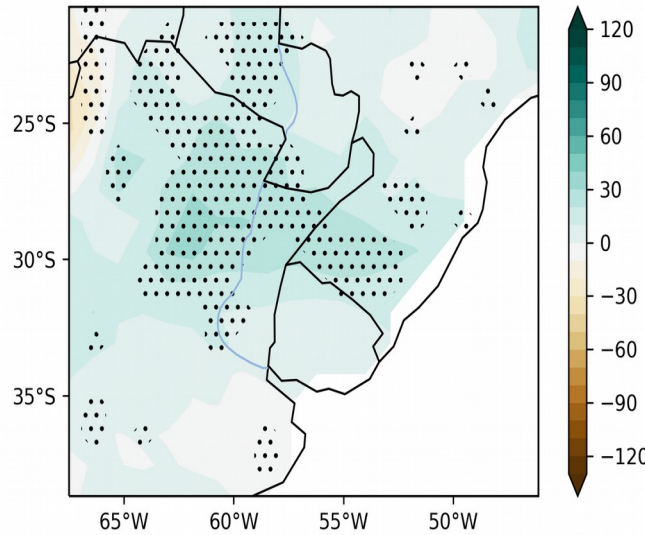
SSP245, 2020-2044

DEF no hay cambios significativos

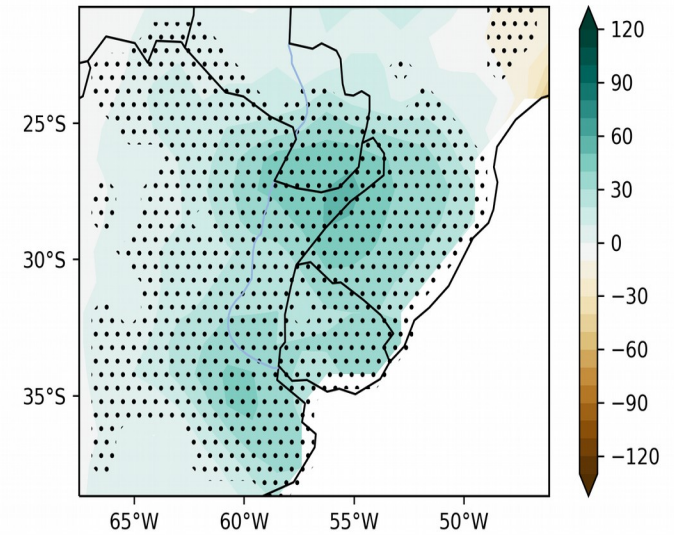
MAM Máximo aumento

JJA y SON señal débil

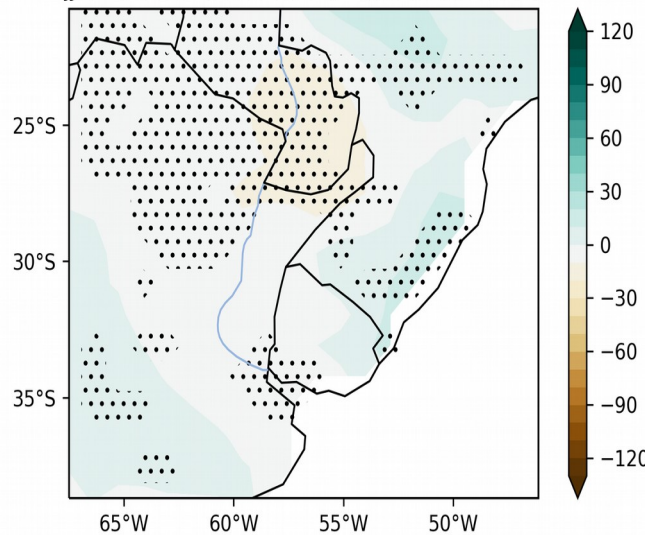
DEF - SSP245 (2020-2044) - hist (1981-2010)



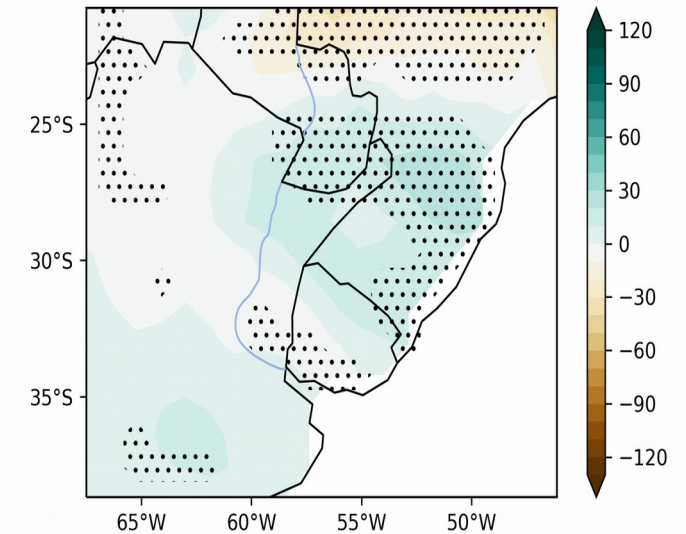
MAM - SSP245 (2020-2044) - hist (1981-2010)



JJA - SSP245 (2020-2044) - hist (1981-2010)



SON - SSP245 (2020-2044) - hist (1981-2010)



# Proyecciones de precipitación (CMIP6) - 2075-2099

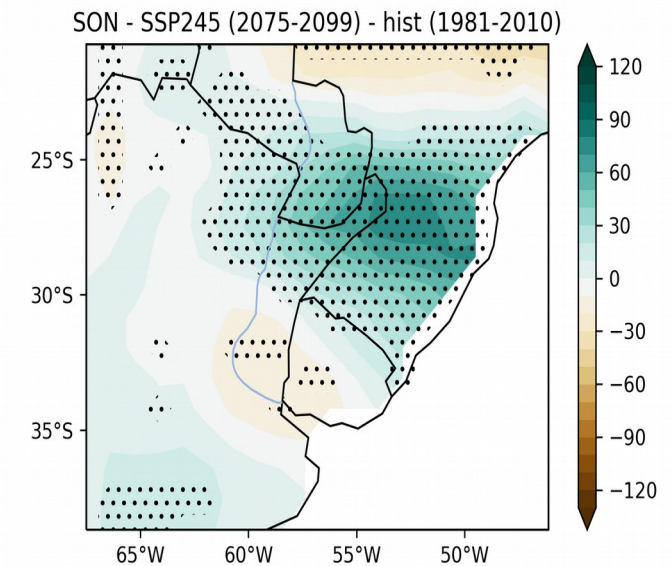
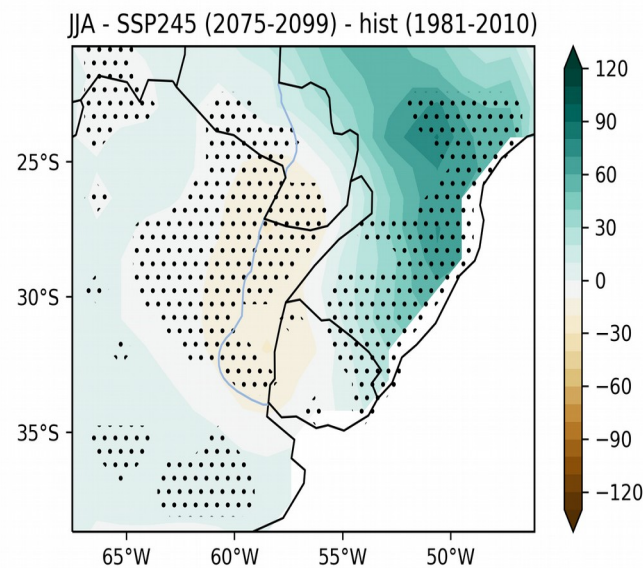
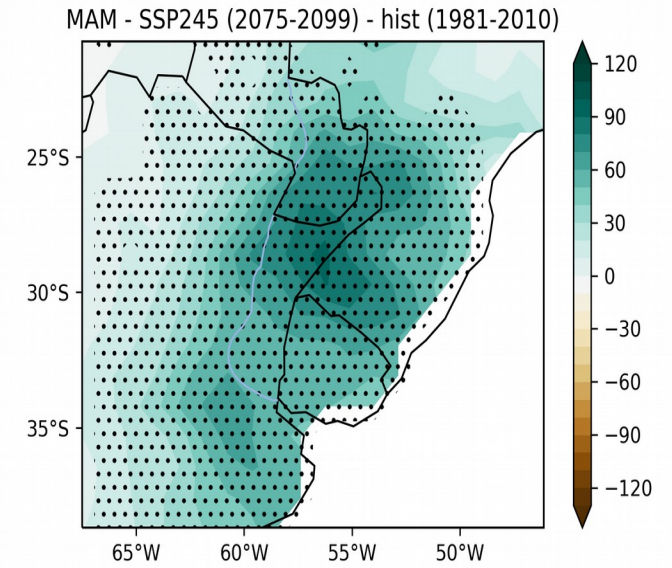
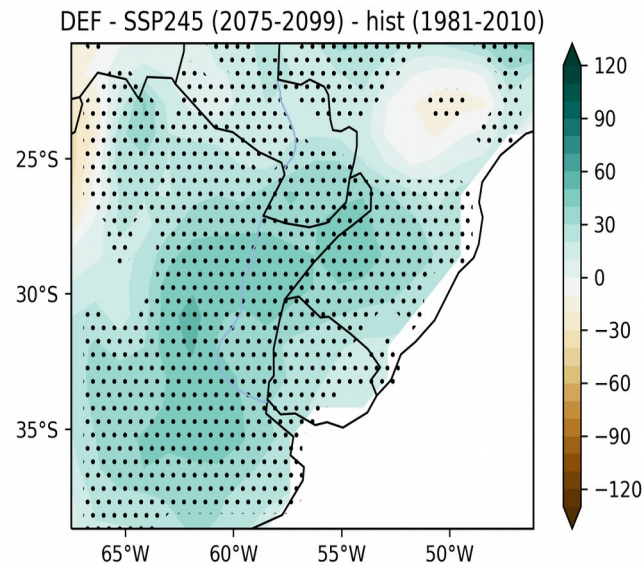
## SSP245, 2075-2099

DEF aumento en casi todo el país, excepto sureste

MAM Máximo aumento en todo el país

JJA aumento al este

SON señal débil, disminución suroeste



## SSP585, 2075-2099

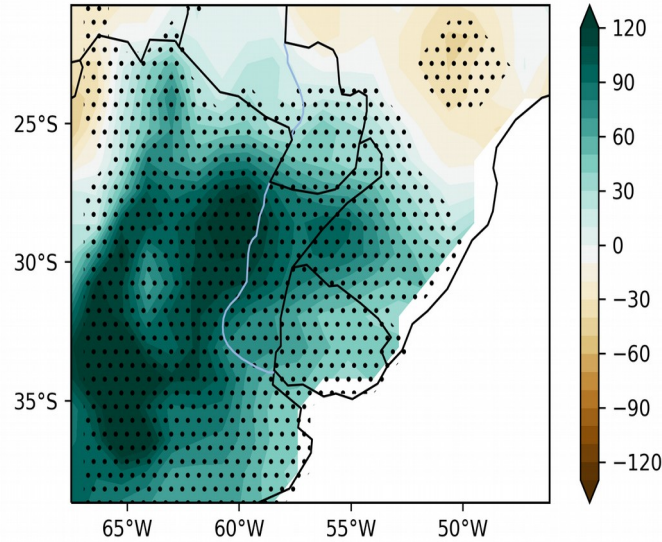
DEF aumento en todo el país

MAM Máximo aumento

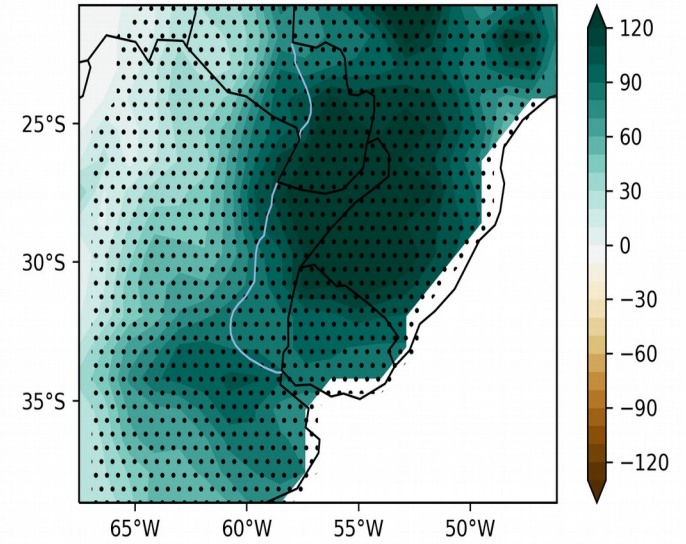
JJA aumento al este

SON disminución al sur

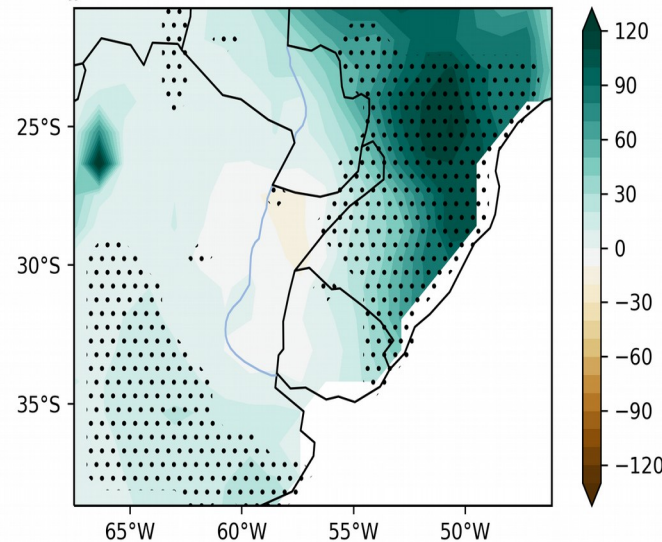
DEF - SSP585 (2075-2099) - hist (1981-2010)



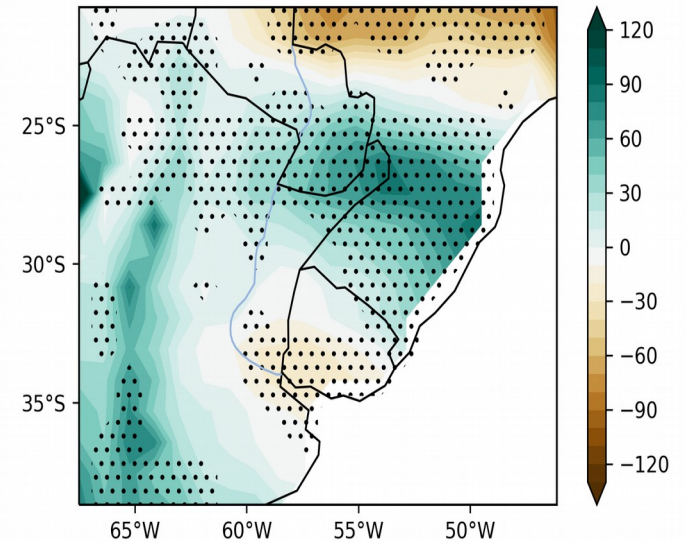
MAM - SSP585 (2075-2099) - hist (1981-2010)



JJA - SSP585 (2075-2099) - hist (1981-2010)



SON - SSP585 (2075-2099) - hist (1981-2010)



# Ecuación de evolución del clima

