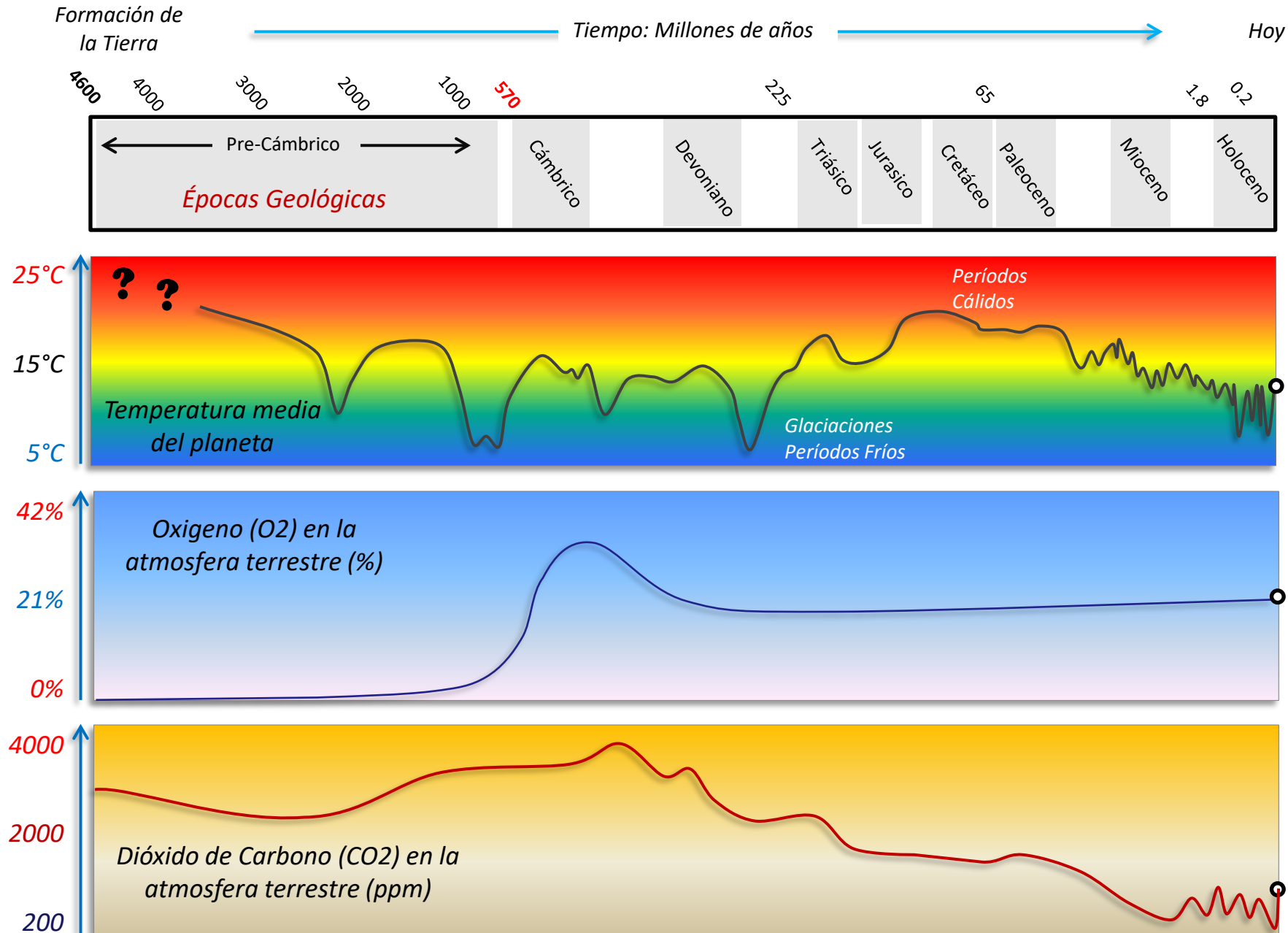


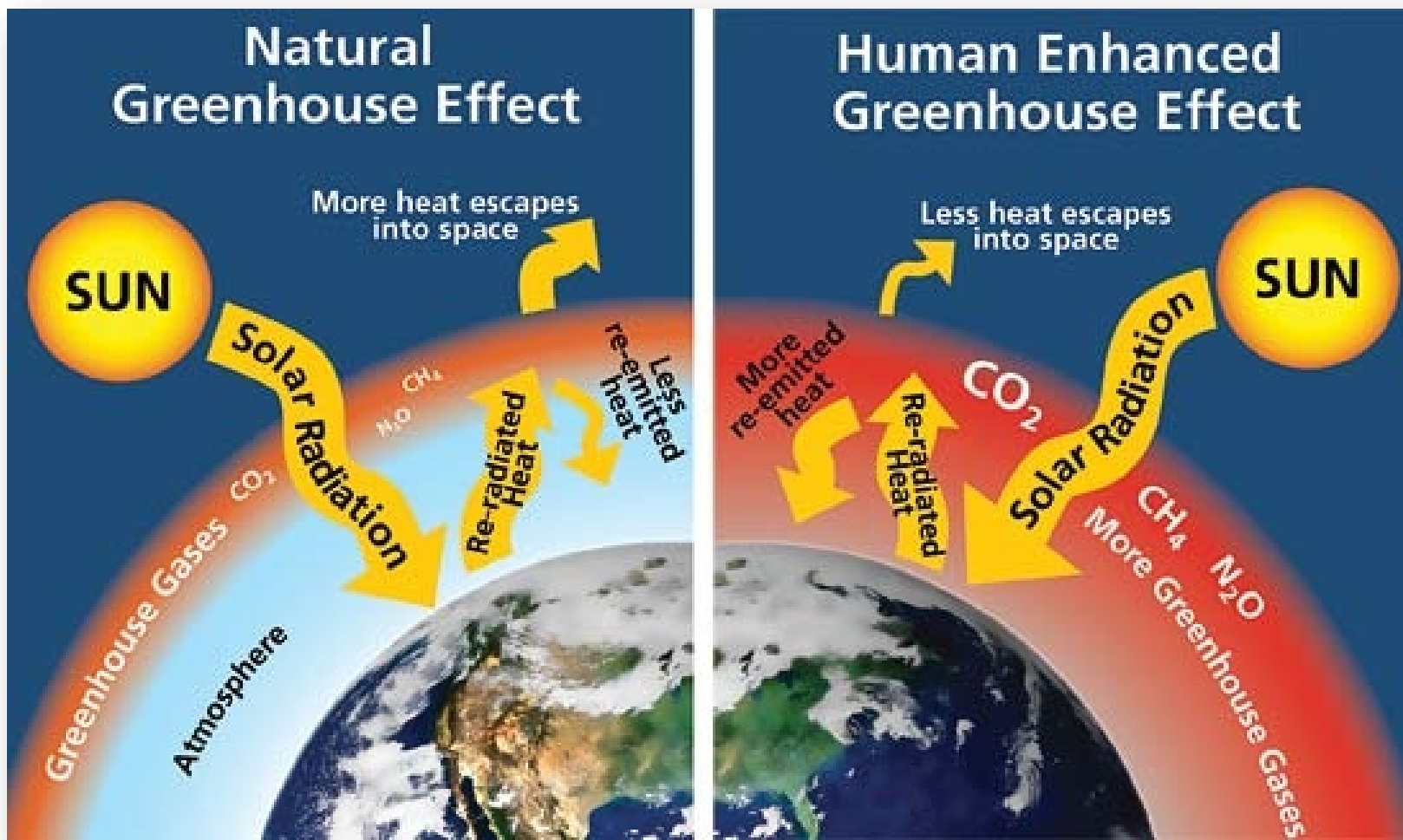
El clima siempre cambia...

Historia climática del Planeta

- Permanente cambio → forzamientos e inestabilidades
- Variaciones de T en un rango pequeño (biosfera $\forall t$) → termostato global
- Usualmente más cálida que condición actual...y con mucho mas CO₂



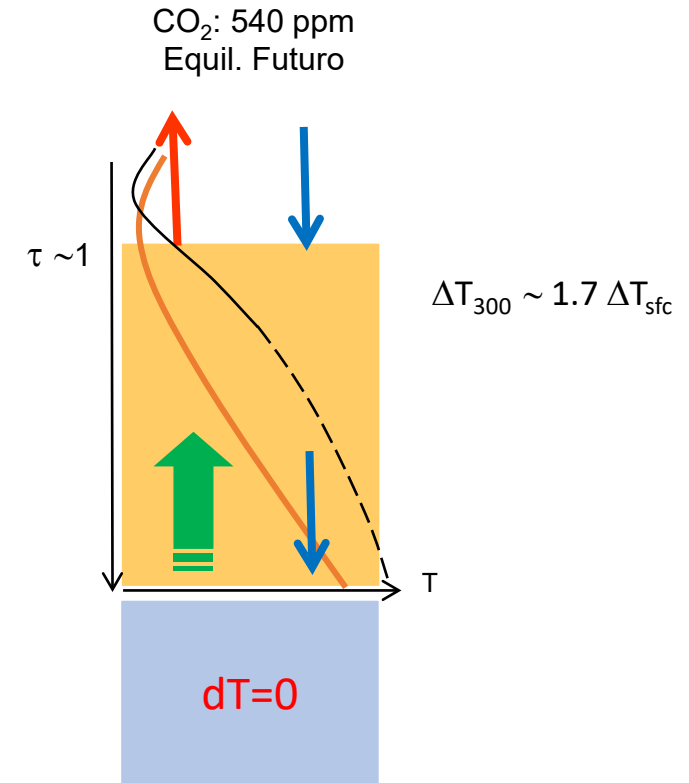
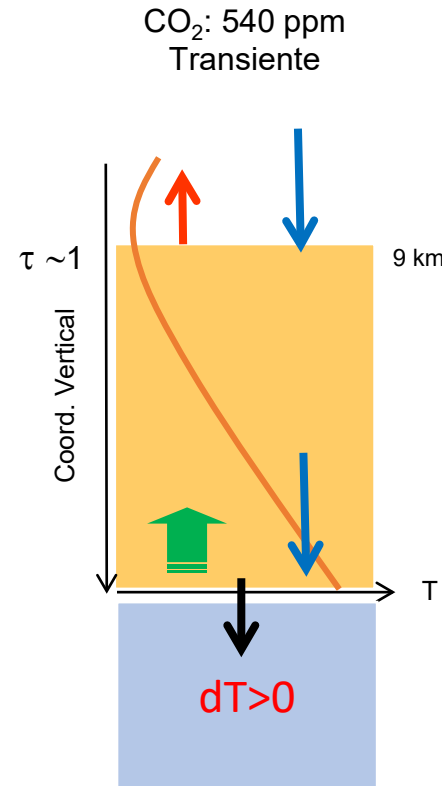
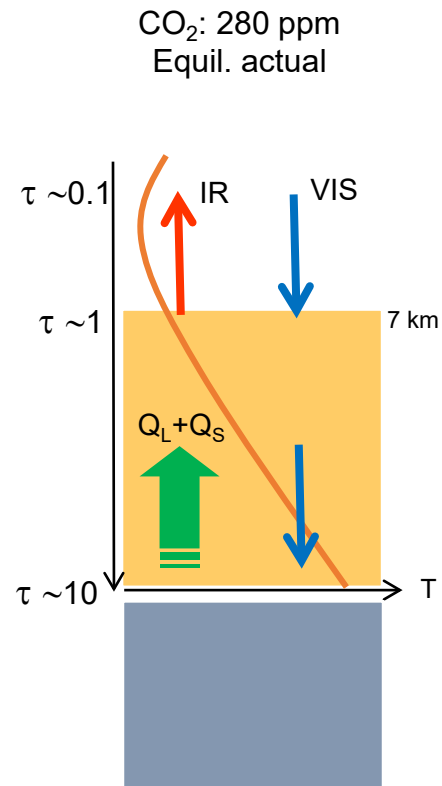
Figuras populares del efecto invernadero



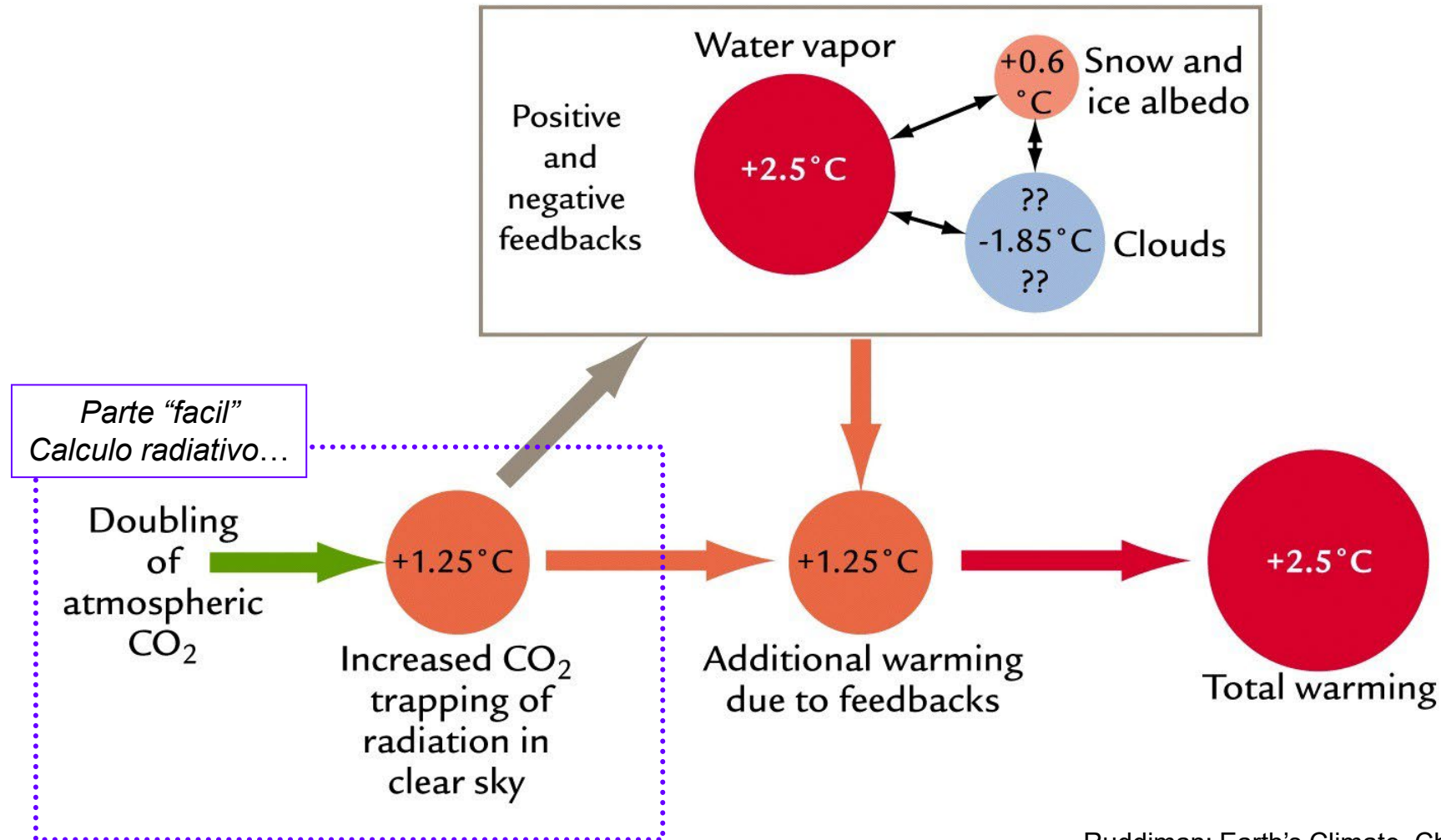
Efecto Invernadero II

Incremento GEI → Energización Global → *Calentamiento Global*

$$\tau_{\lambda} = \int_z^{\infty} k_{\lambda} \rho \cdot dz$$



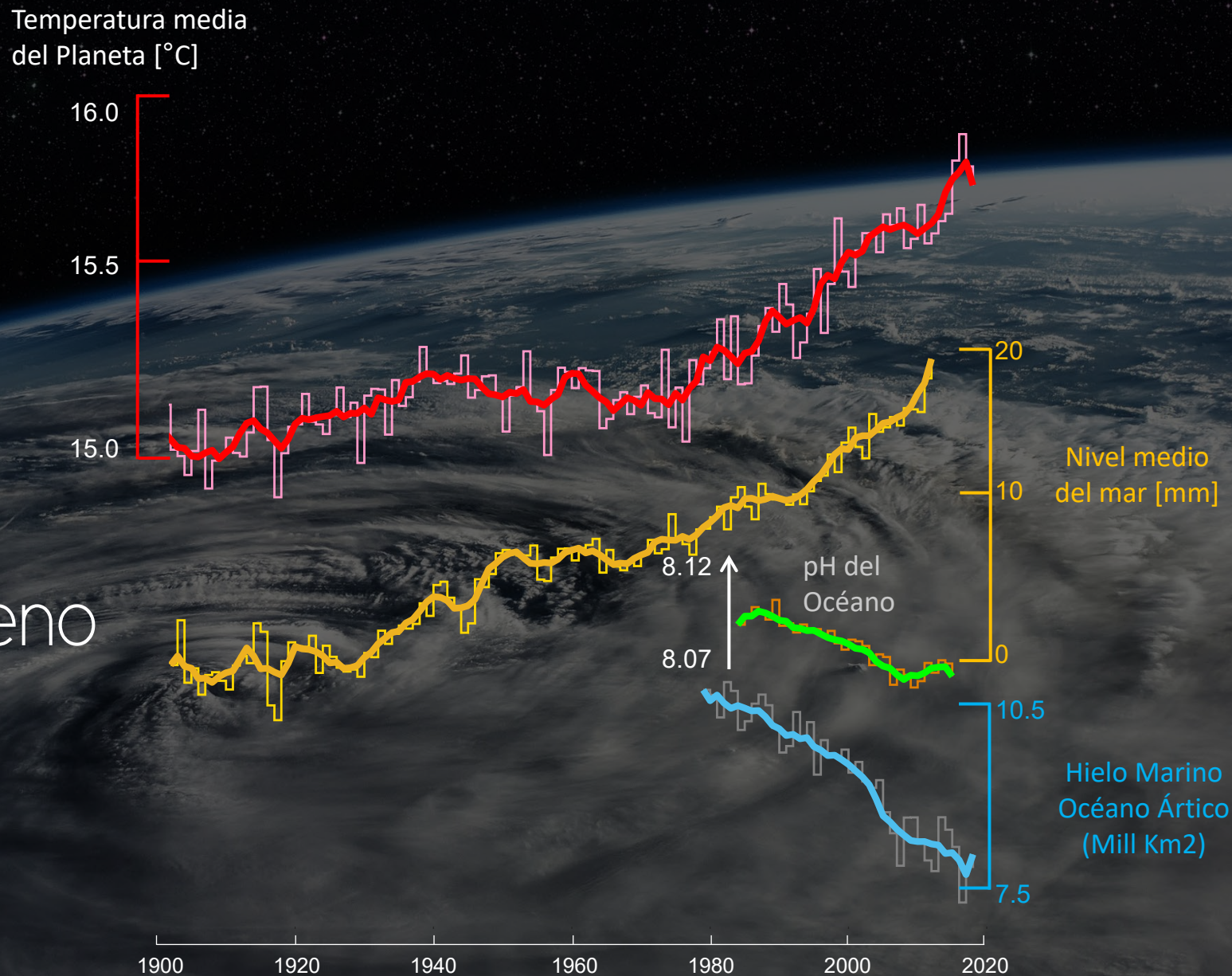
Retro-alimentación del sistema climático cambian la respuesta al incremento del CO₂



Cambio Climático Antropogénico

NUESTRO CLIMA CAMBIANTE

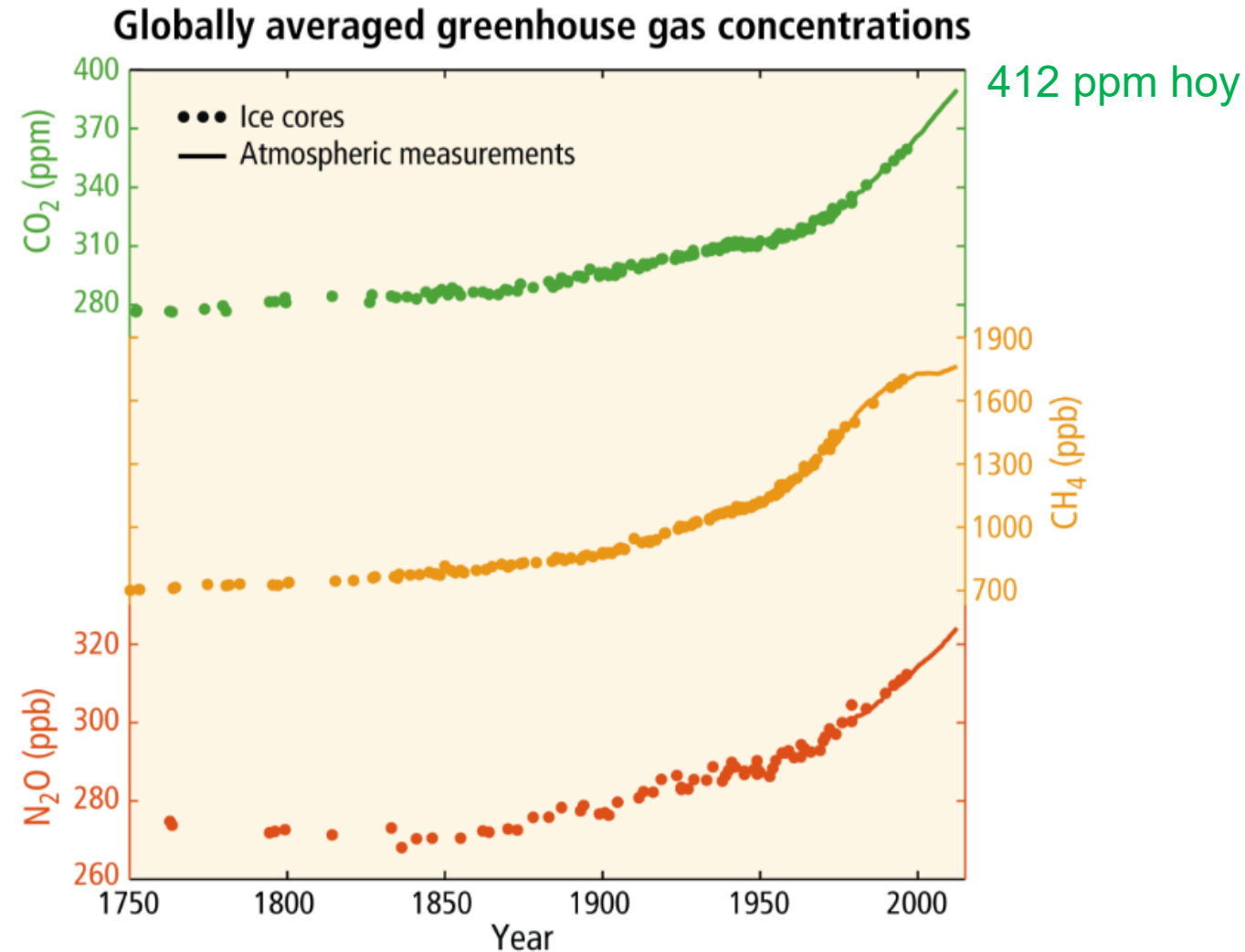
Indicadores globales durante el Antropoceno



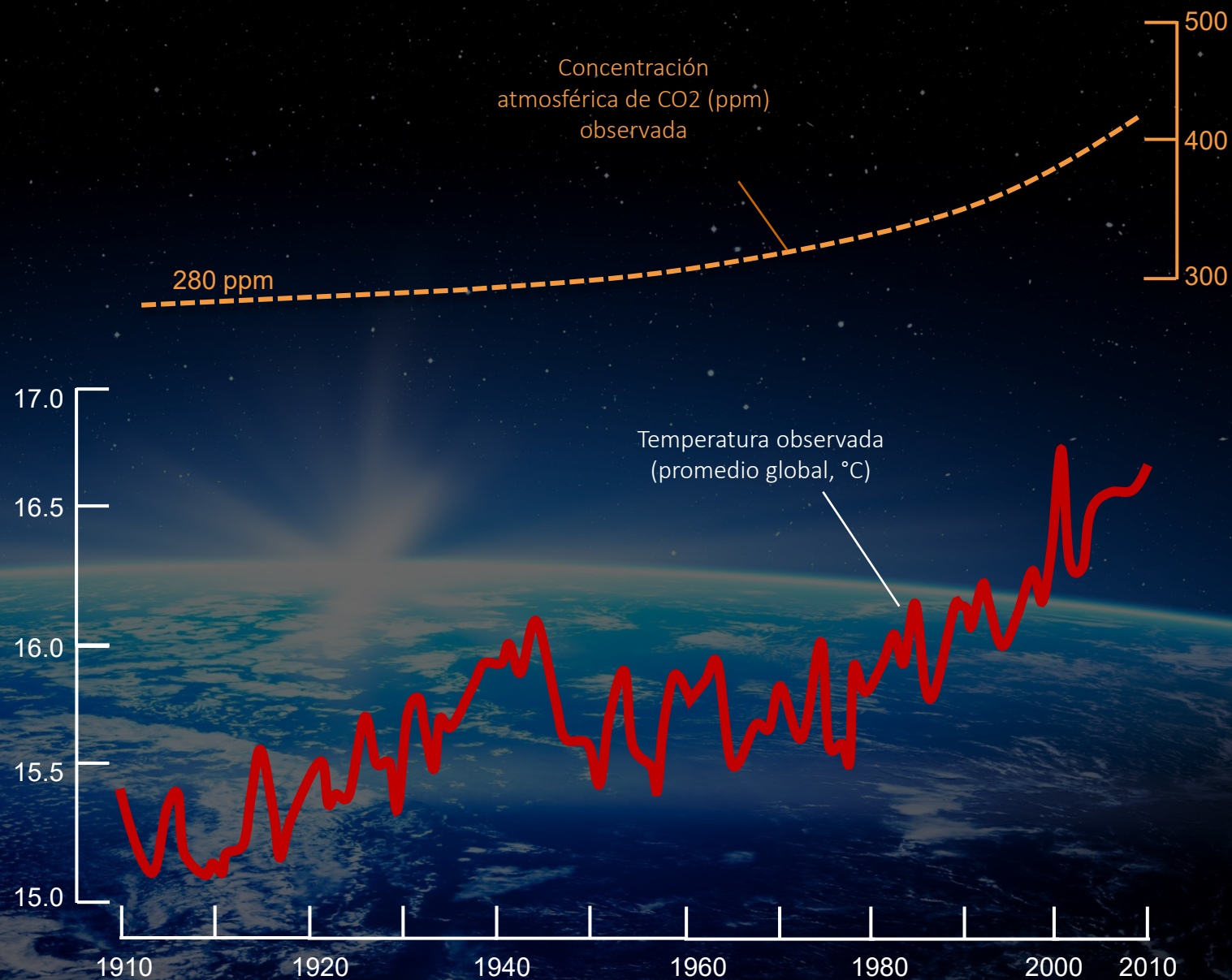
Efecto invernadero y cambio climático

Algo pequeño tiene un efecto grande....

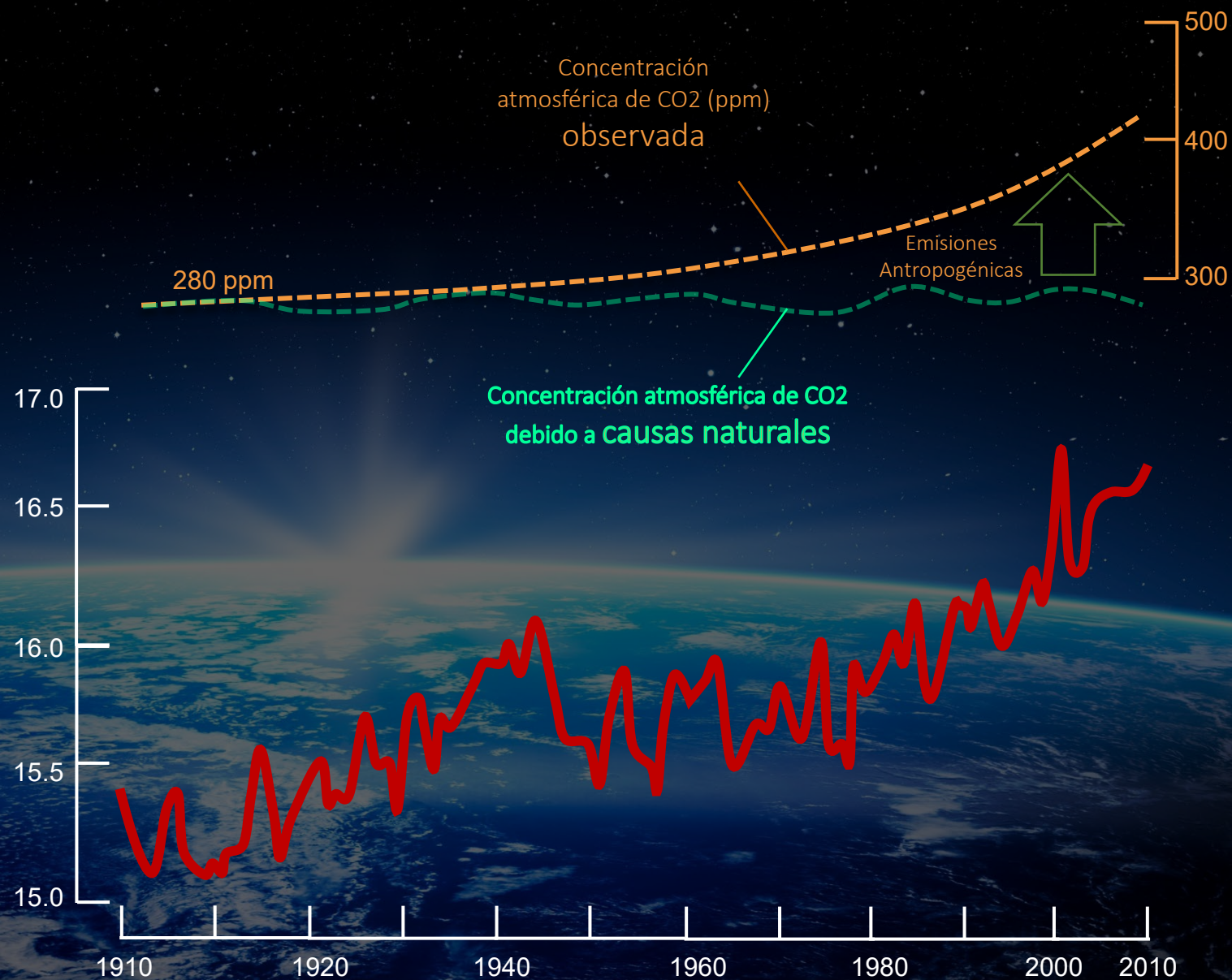
CO₂, CH₄, H₂O and other gasses absorb longwave radiation emitted by the surface....



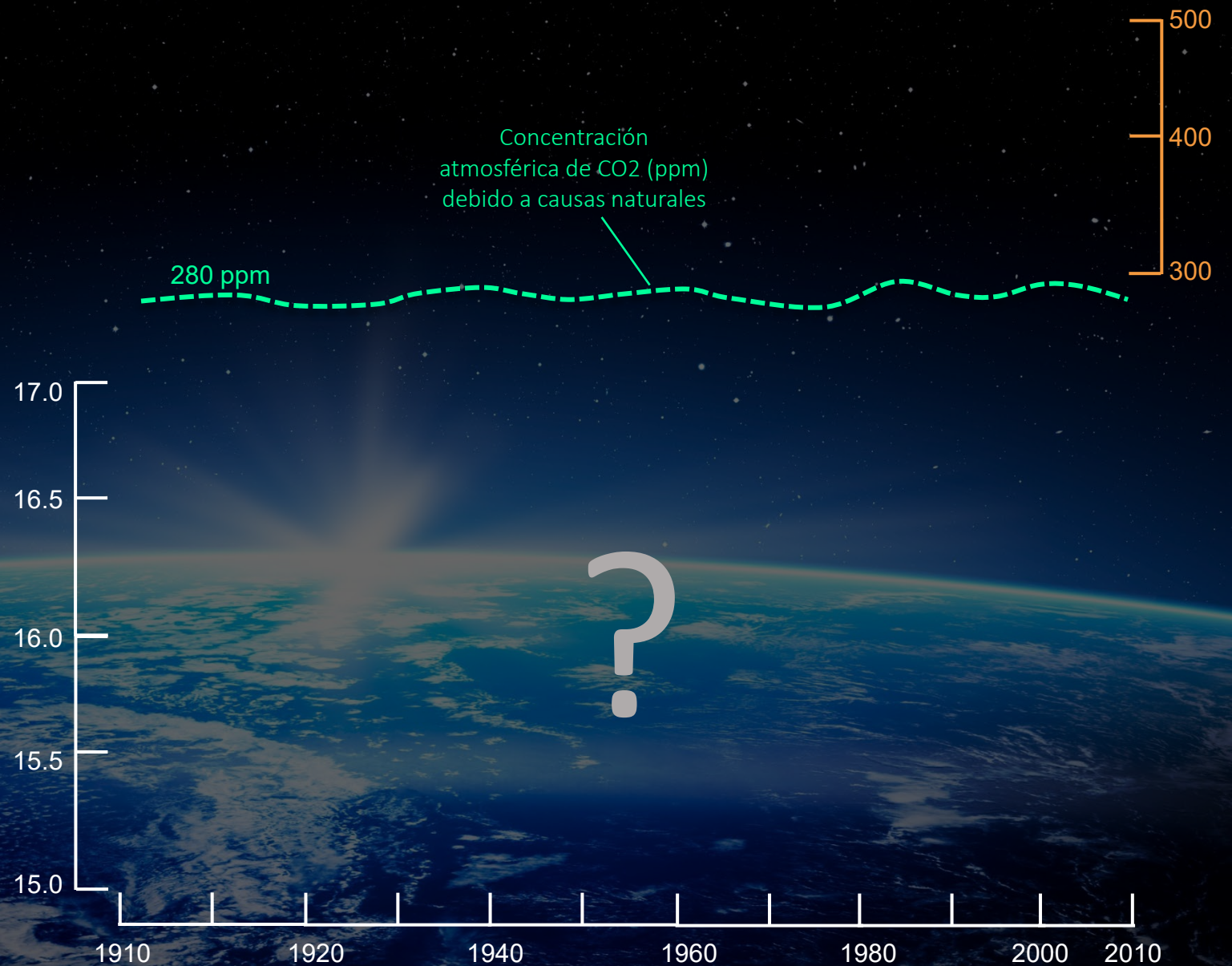
Detección y Atribución del **Cambio Climático**



Detección y Atribución del **Cambio Climático**



Detección y Atribución del **Cambio Climático**



¿Como simulamos el clima (pasado, presente y futuro)?

Ecuaciones Gobernantes de la Atmosfera
(sistema terrestre)

$$\frac{d\vec{V}}{dt} + f\hat{k} \times \vec{V} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \overline{Fr} + \vec{g}$$

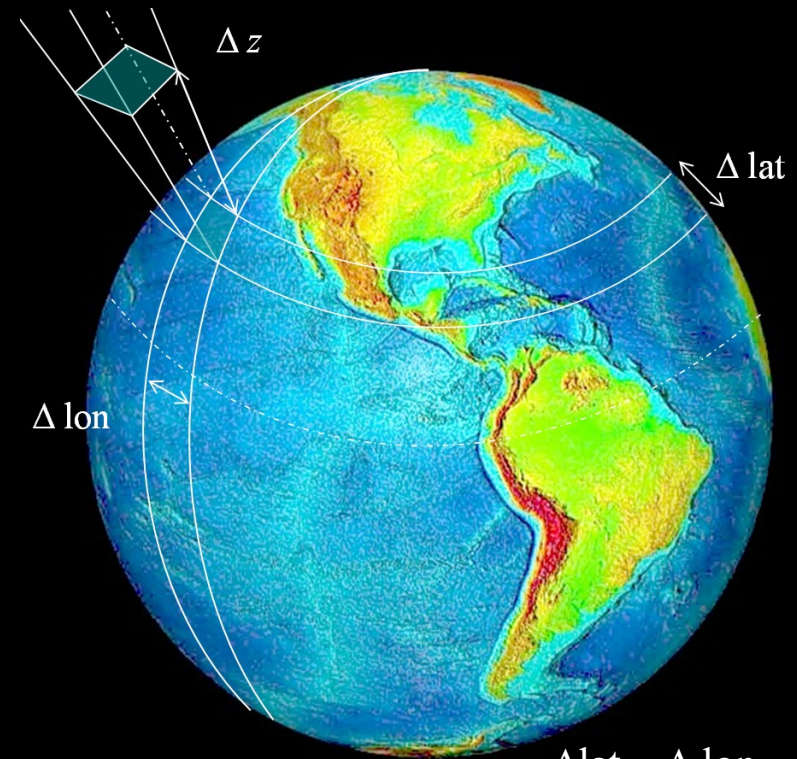
$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla\right)T - S_p\omega = Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{sfc}$$

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{RT}{p}$$

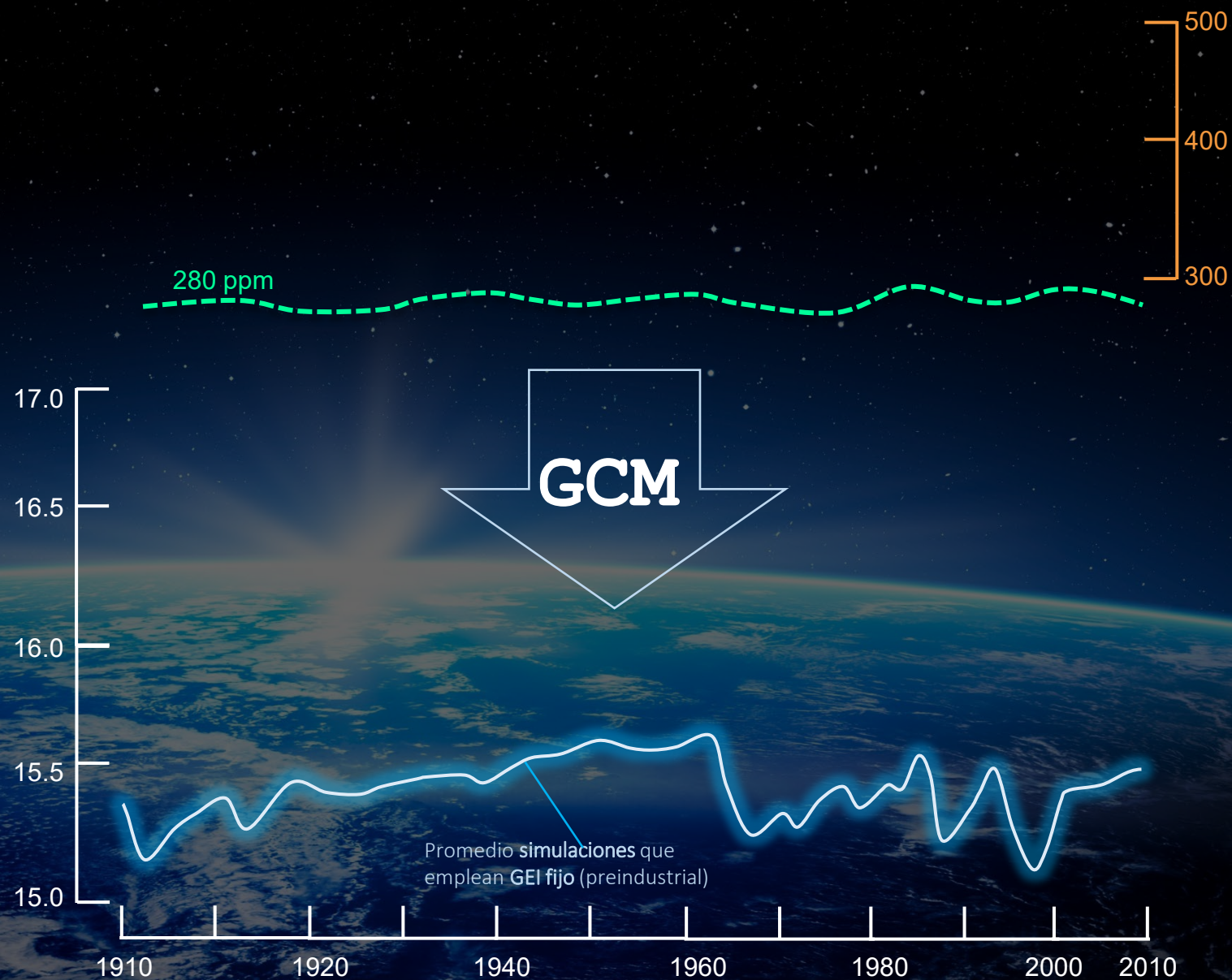
Requiere prescribir GEI, aerosoles
y otras condiciones de borde

Modelos de Circulación General (GCM).
Cerca de 30 modelos coordinados (CMIP5)



$\Delta\text{lat} \sim \Delta\text{lon} \sim 1^\circ - 3^\circ$
 $\Delta z \sim 1\text{ km}$ $\Delta t \sim \text{minutes-hours}$

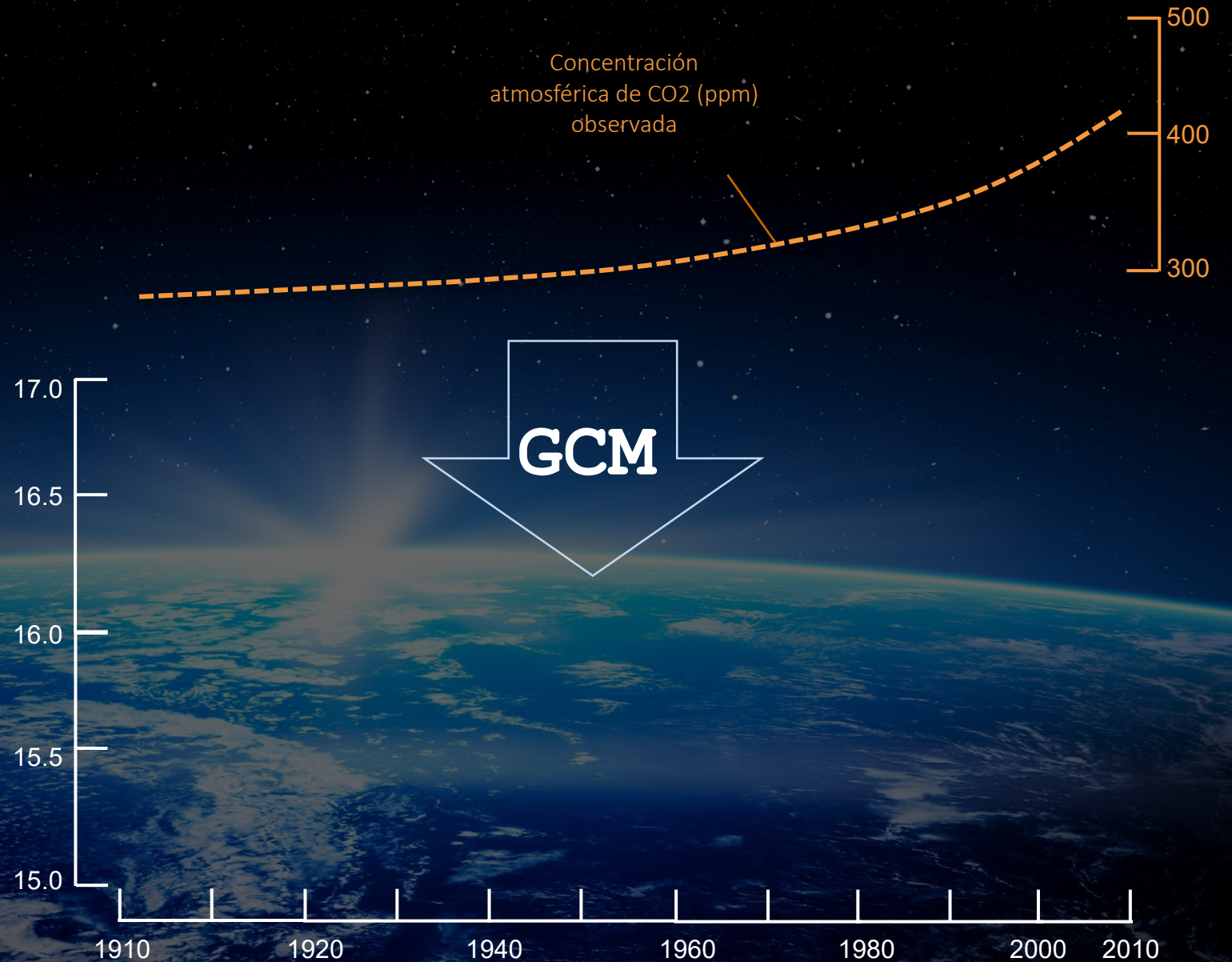
Detección y Atribución del **Cambio Climático** en base a modelos numéricos



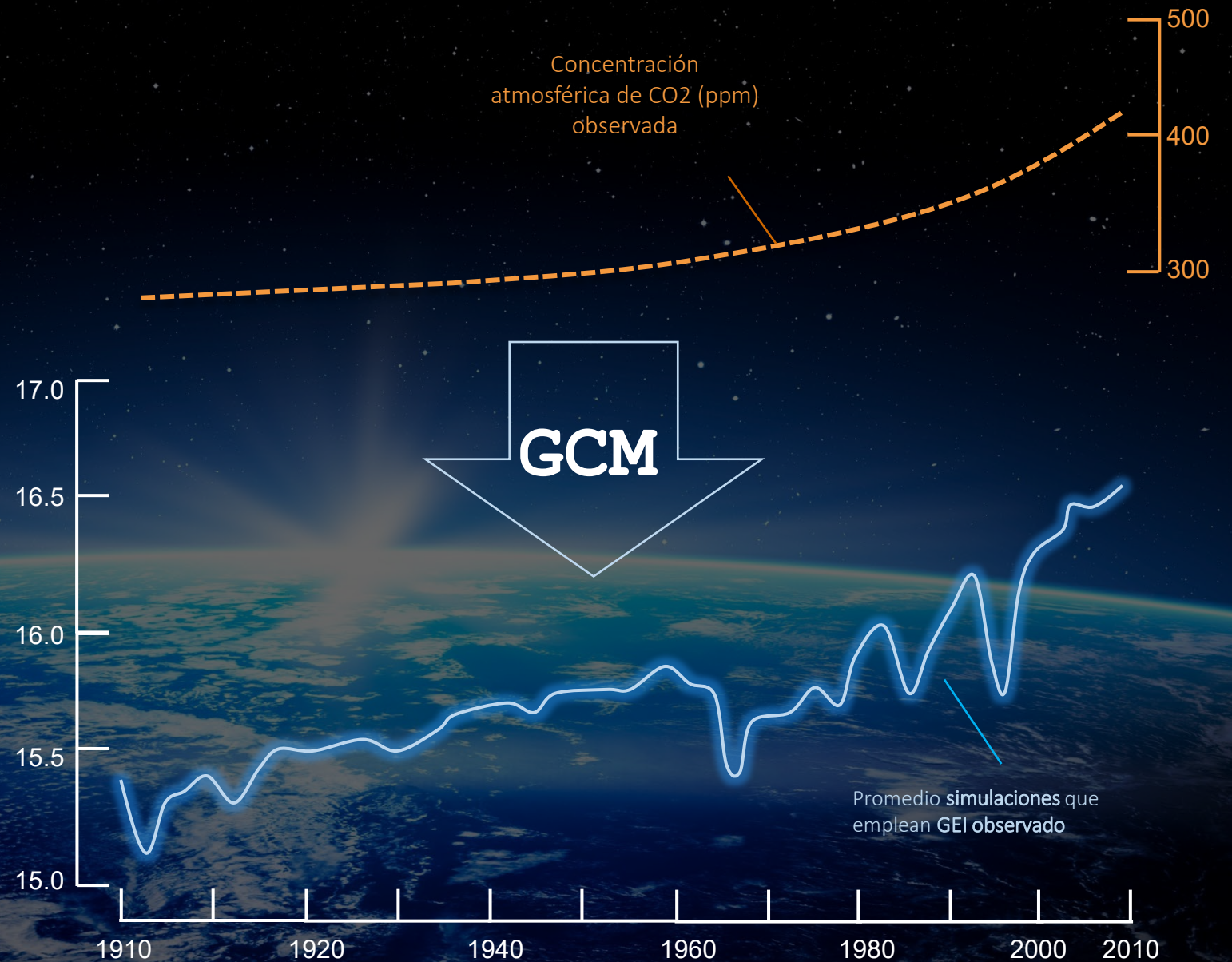
Detección y Atribución del **Cambio Climático** en base a modelos numéricos



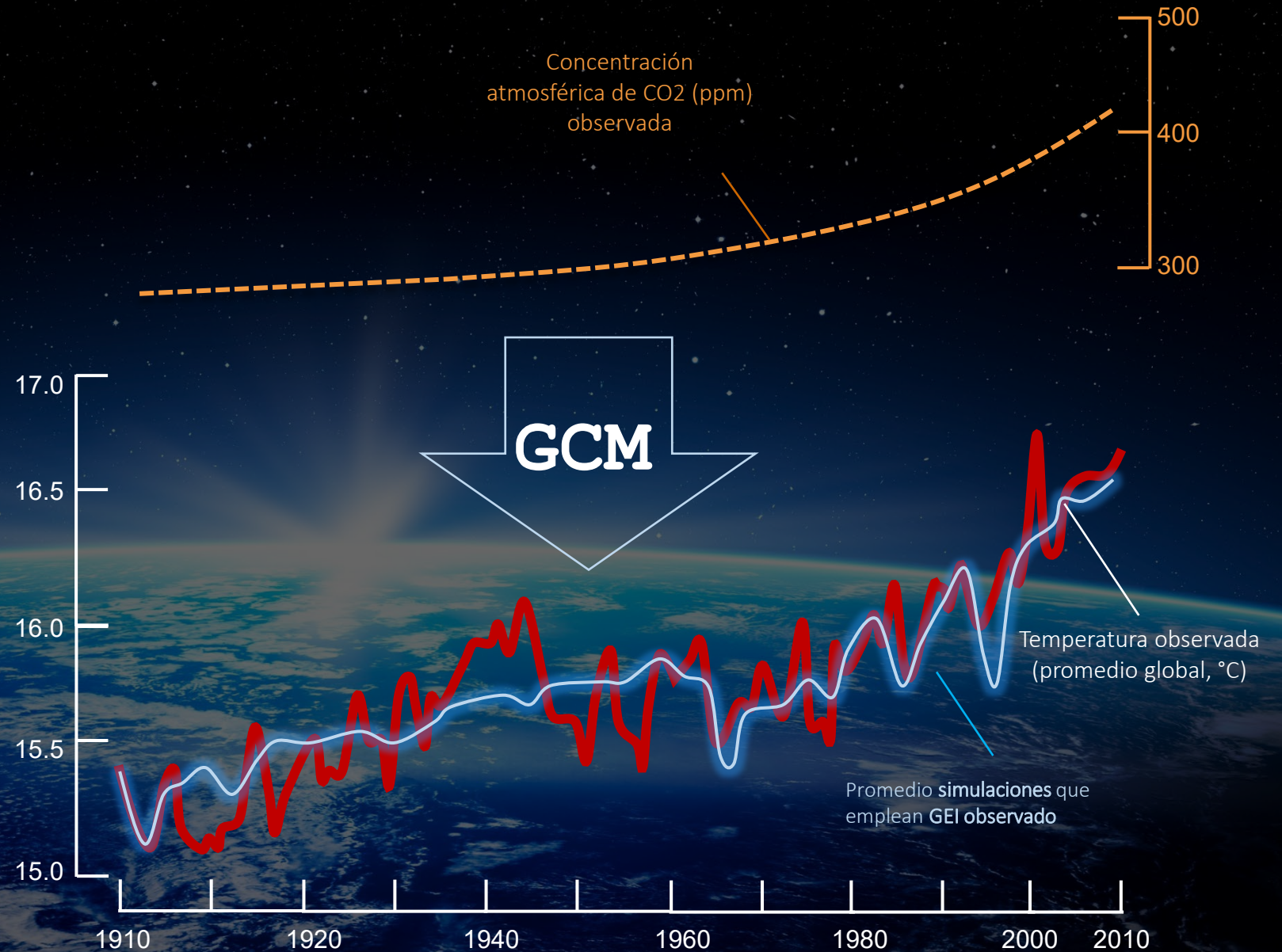
Detección y Atribución del **Cambio Climático** en base a modelos numéricos



Detección y Atribución del **Cambio Climático** en base a modelos numéricos

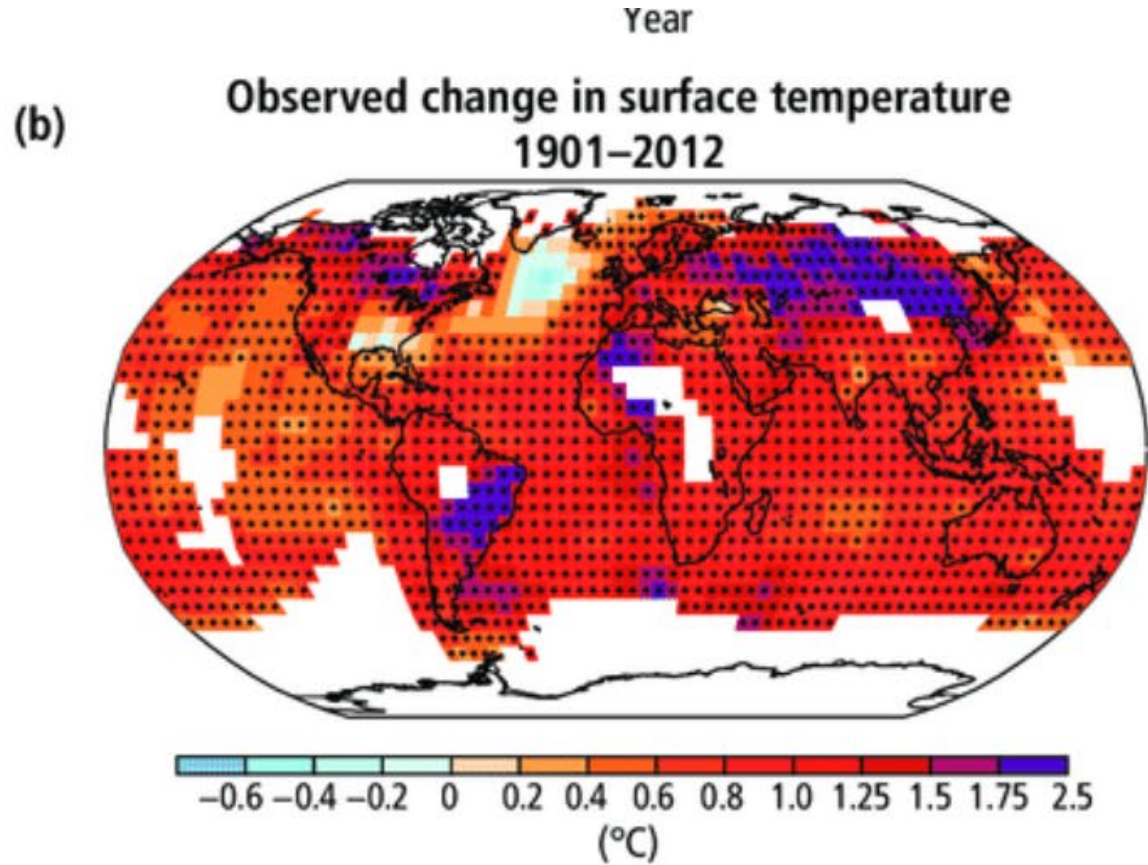


Detección y Atribución del **Cambio Climático** en base a modelos numéricos

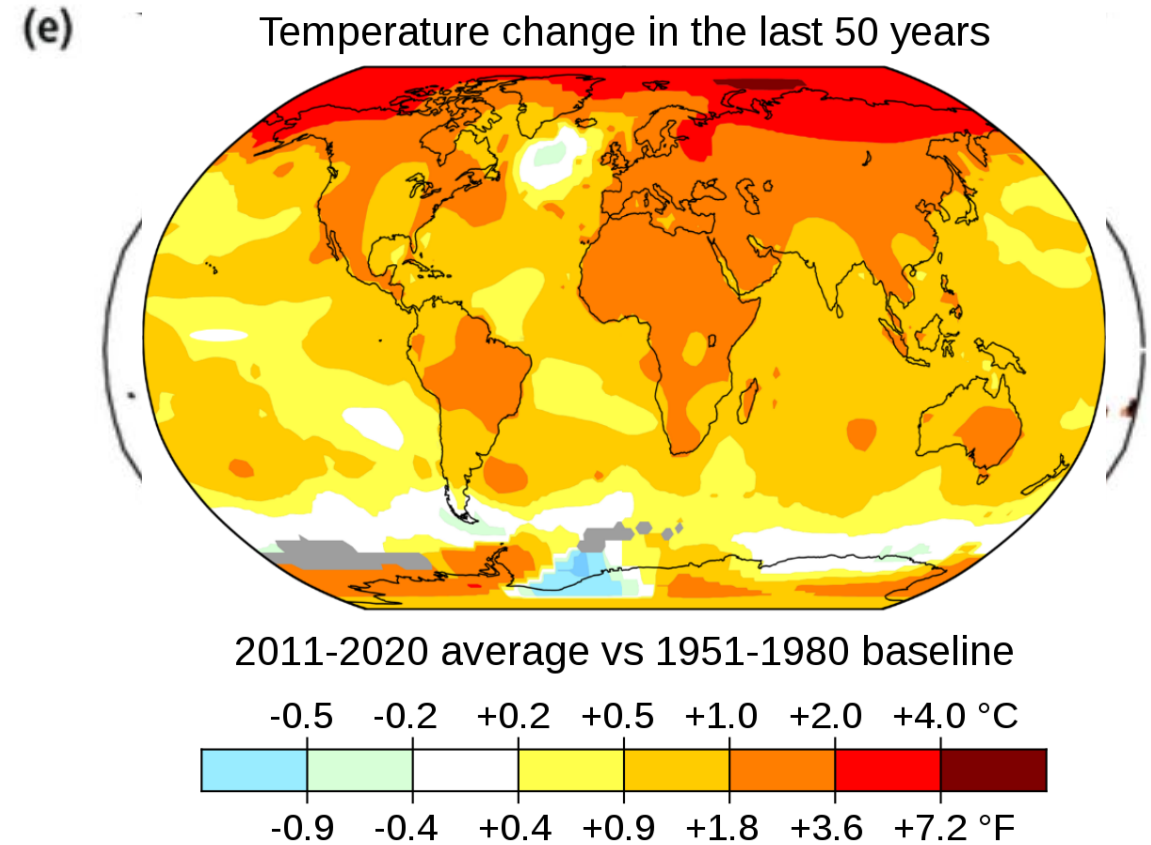


Observaciones Globales

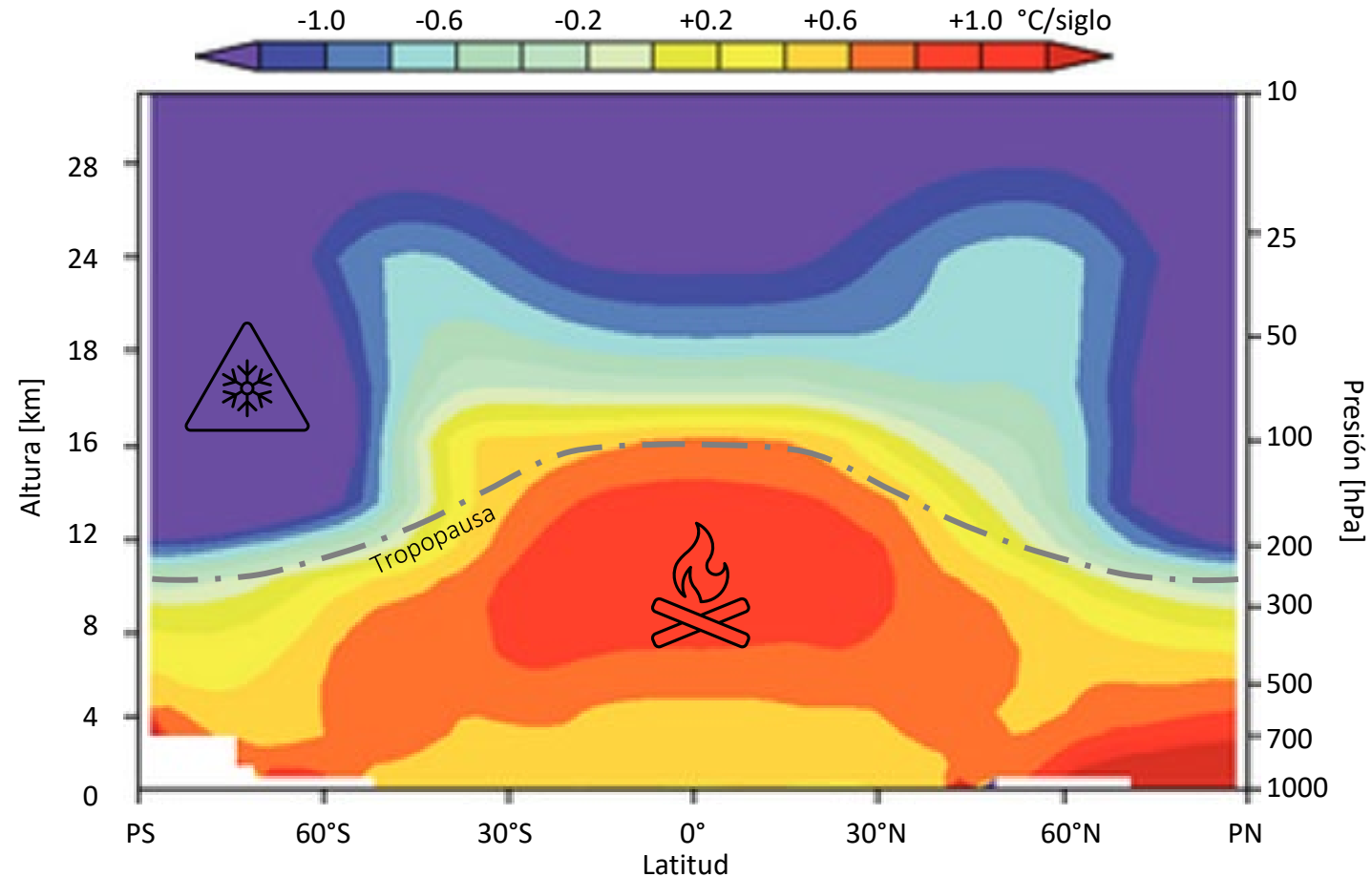
Cambios observados de Temperatura en el siglo XX (IPCC, AR5 - NASA)



Calentamiento en todas
partes....0.5 a 1.5C

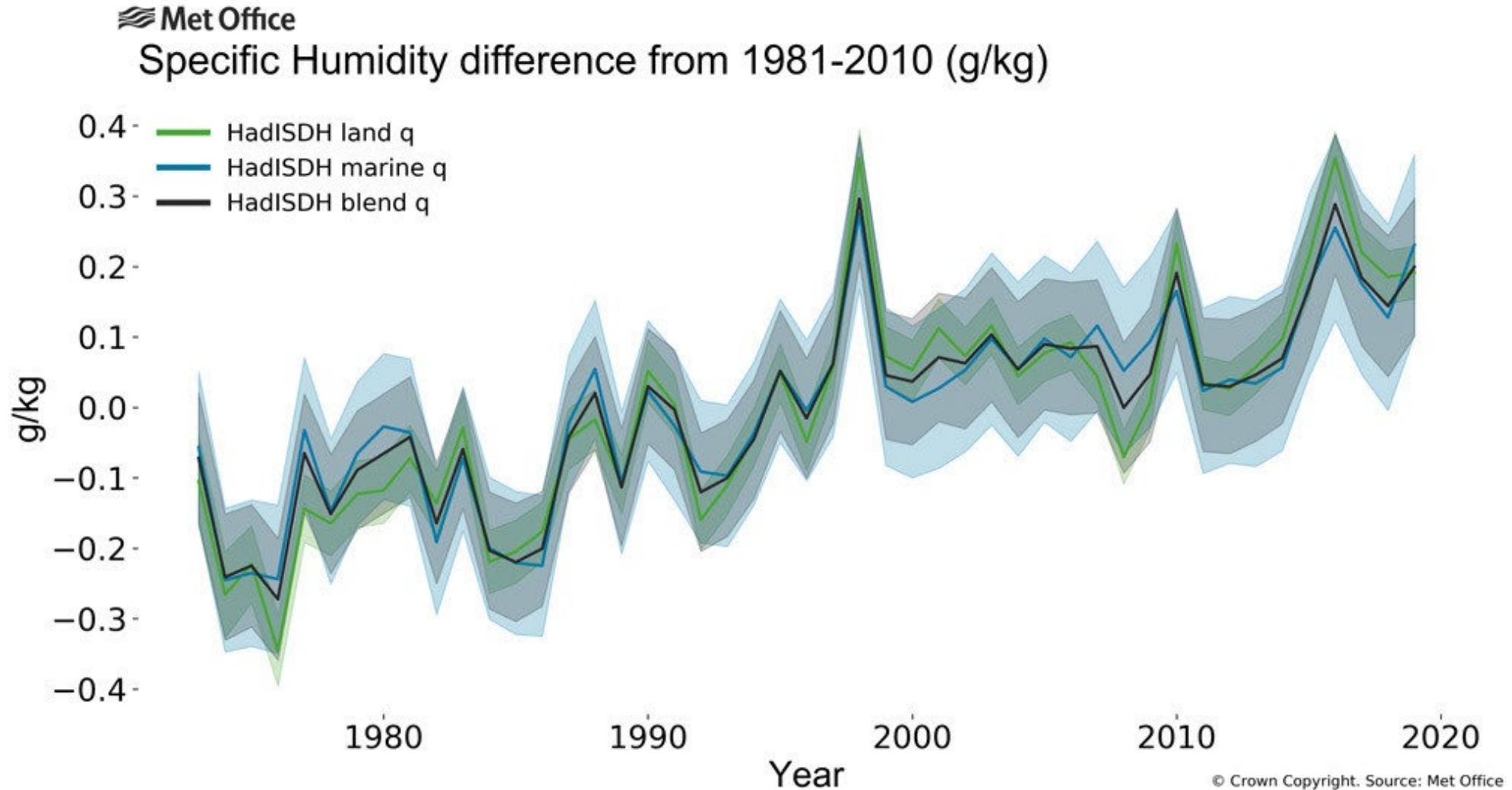


Tendencias de temperatura durante el siglo pasado (Promedio sobre todas las longitudes)

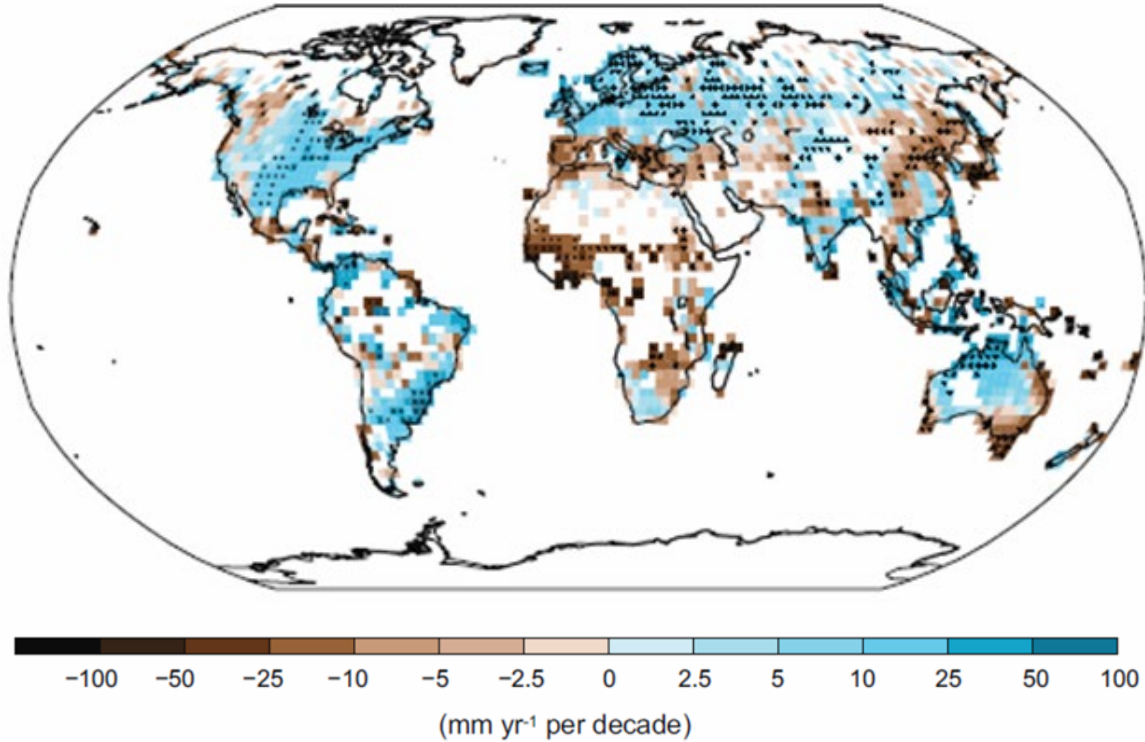


Modelos y argumentos físicos simples predicen **máximo calentamiento en troposfera alta tropical y subtropical** y **máximo enfriamiento en la estratosfera polar**

Un clima más **cálido** → Un clima más **húmedo**



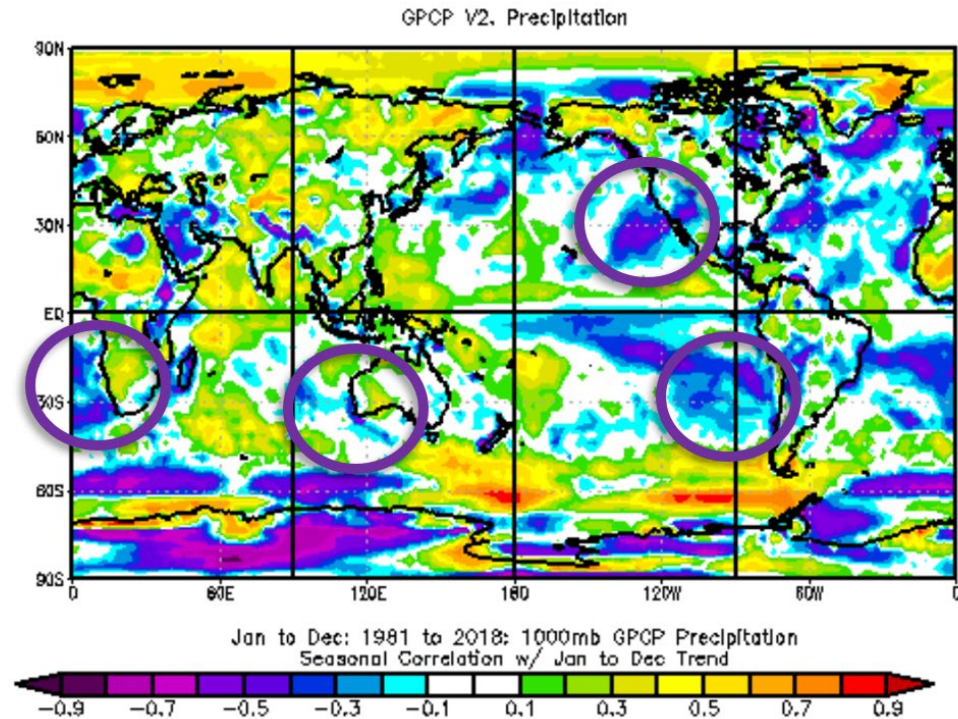
1951–2010



Cambios de Precipitación

En general, un planeta mas cálido es un planeta mas lluvioso, excepto por...

Cambios Observados de Temperatura y Precipitación 1981-2019

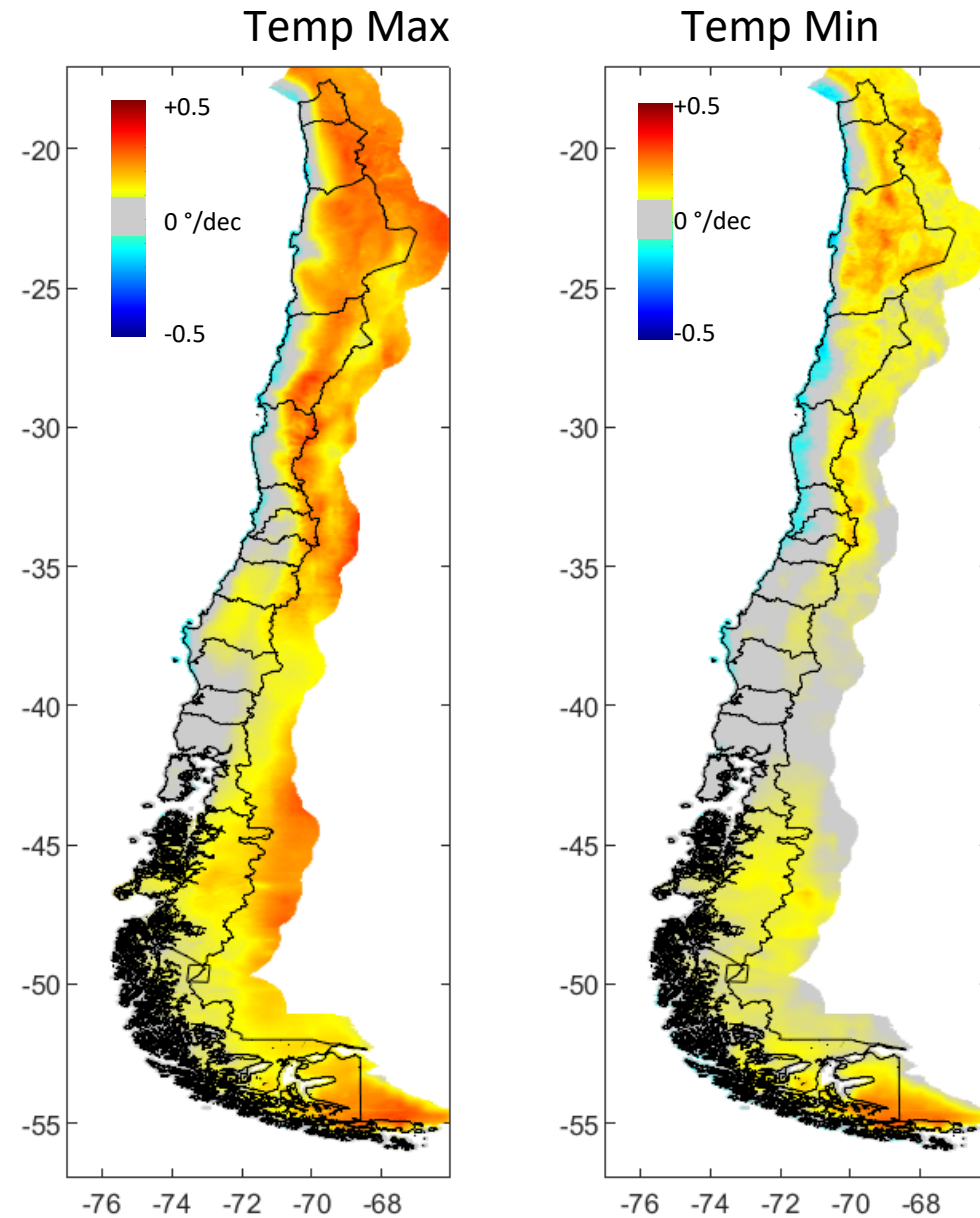


Mas
lluvia

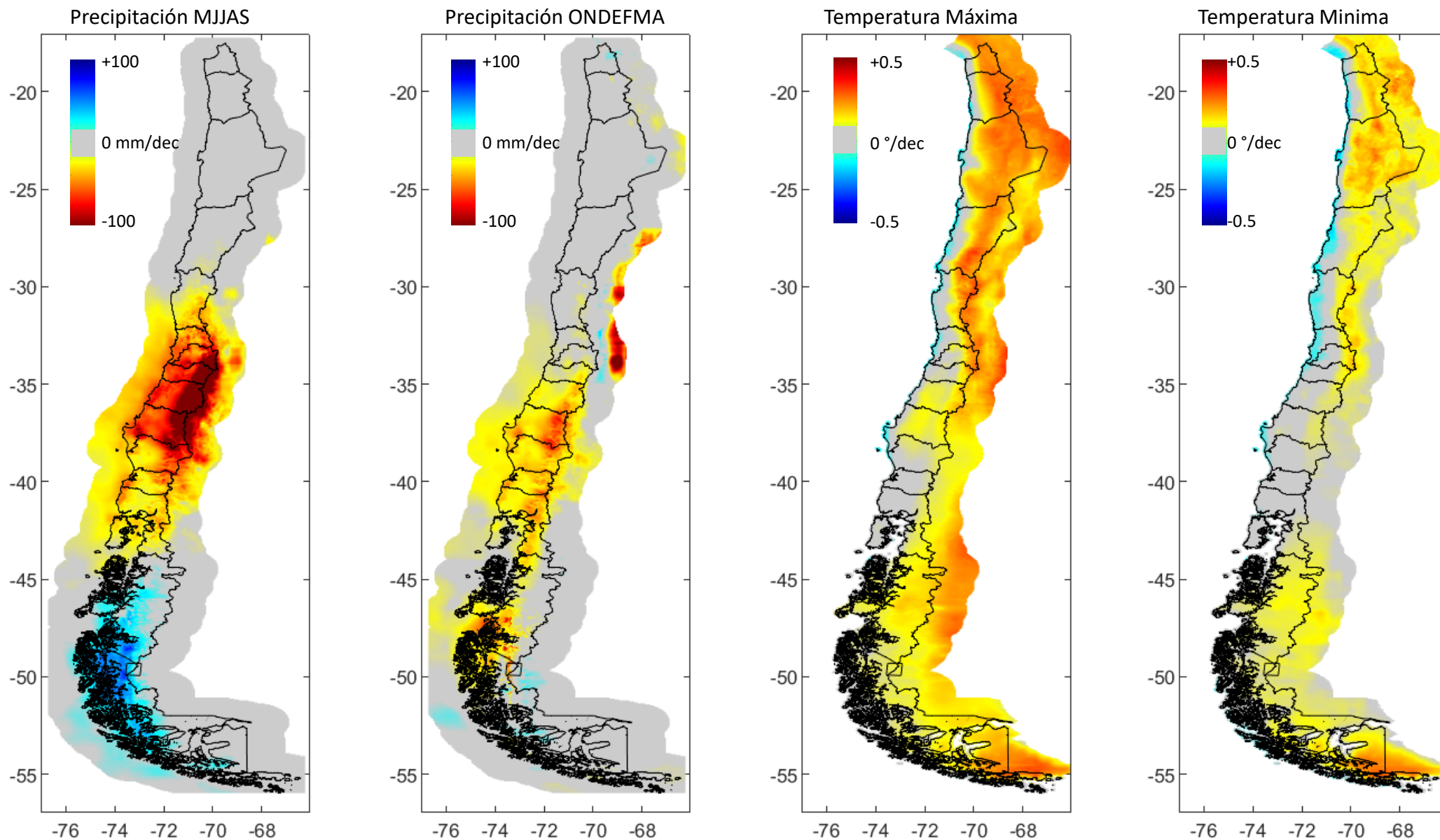
Menos
lluvia

¿Y como andamos por casa?

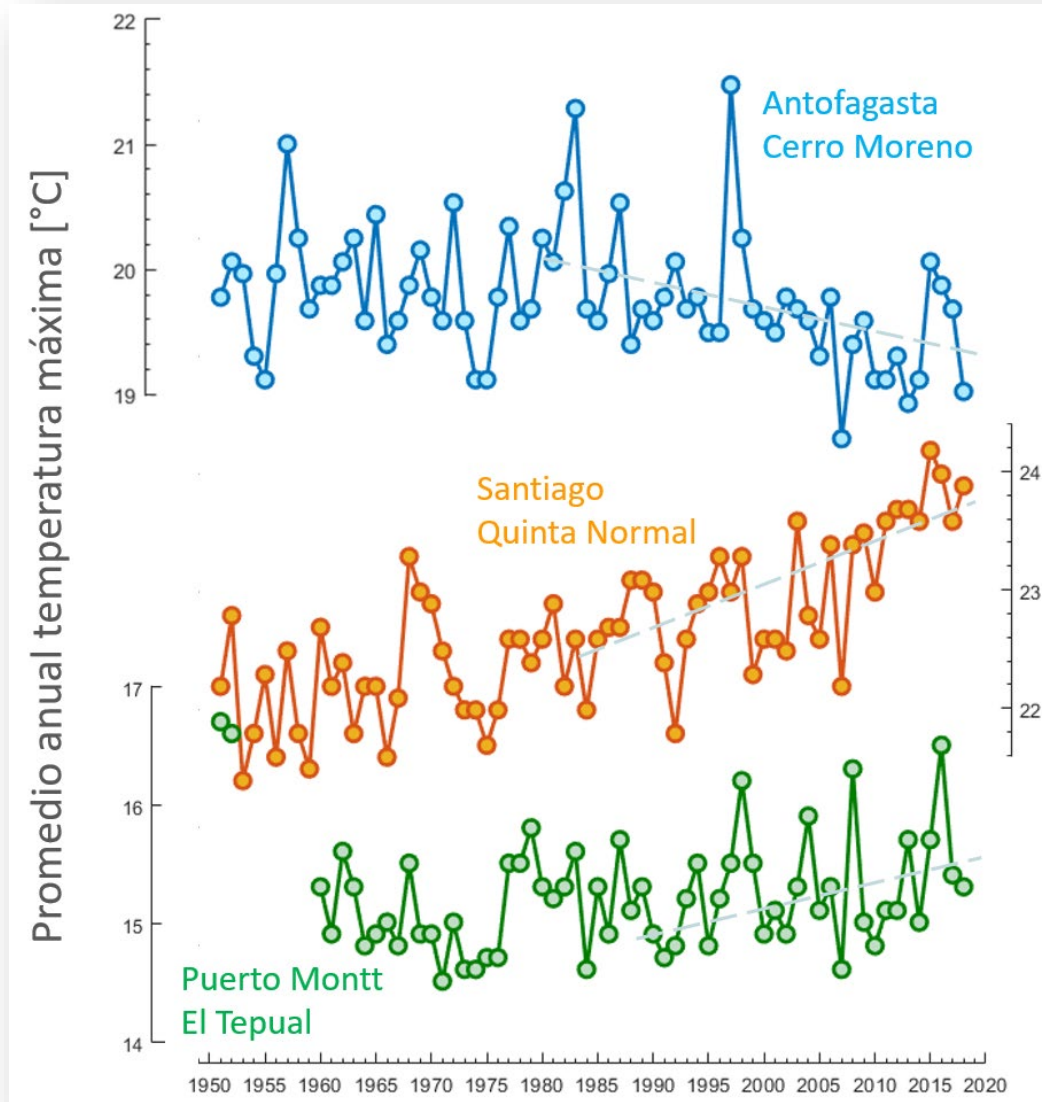
Tendencias Climáticas en Chile 1979-2020 (Base de datos: CR2Met)



Tendencias Climáticas en Chile 1979-2020 (Base de datos: CR2Met)

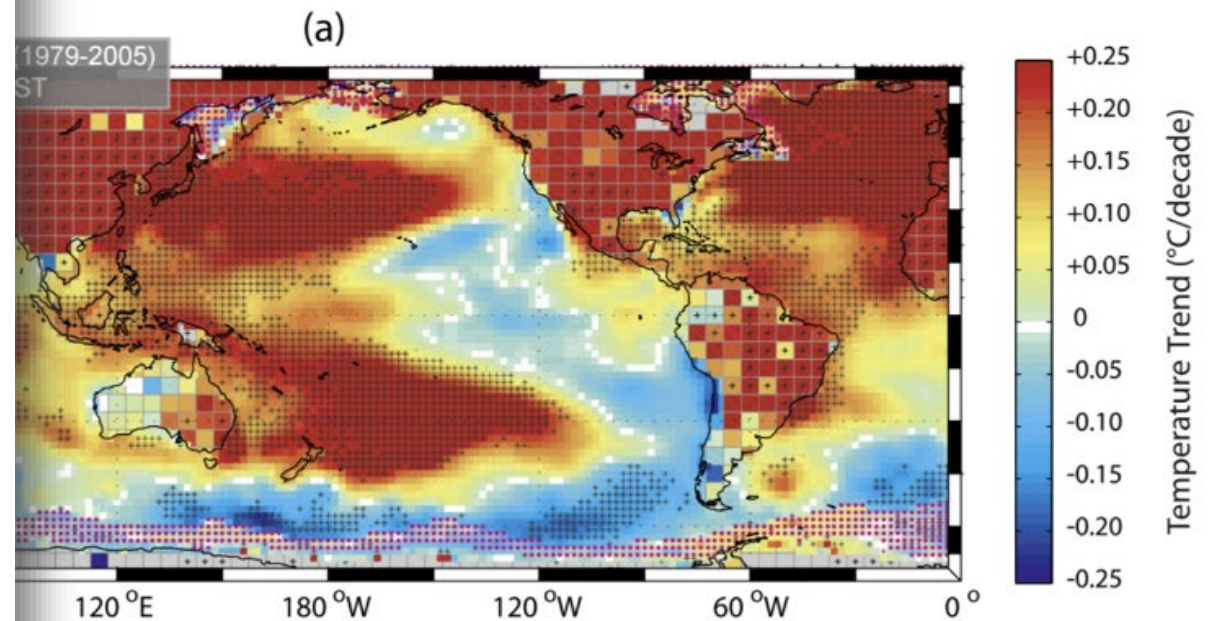


Tendencias de temperatura...ultimas 4 décadas



AND GARREAU: TEMPERATURE TRENDS IN SE PACIFIC/ANDES

D04102



Evolución del numero de días con heladas

Fuente: Reporte del clima 2020 DMC

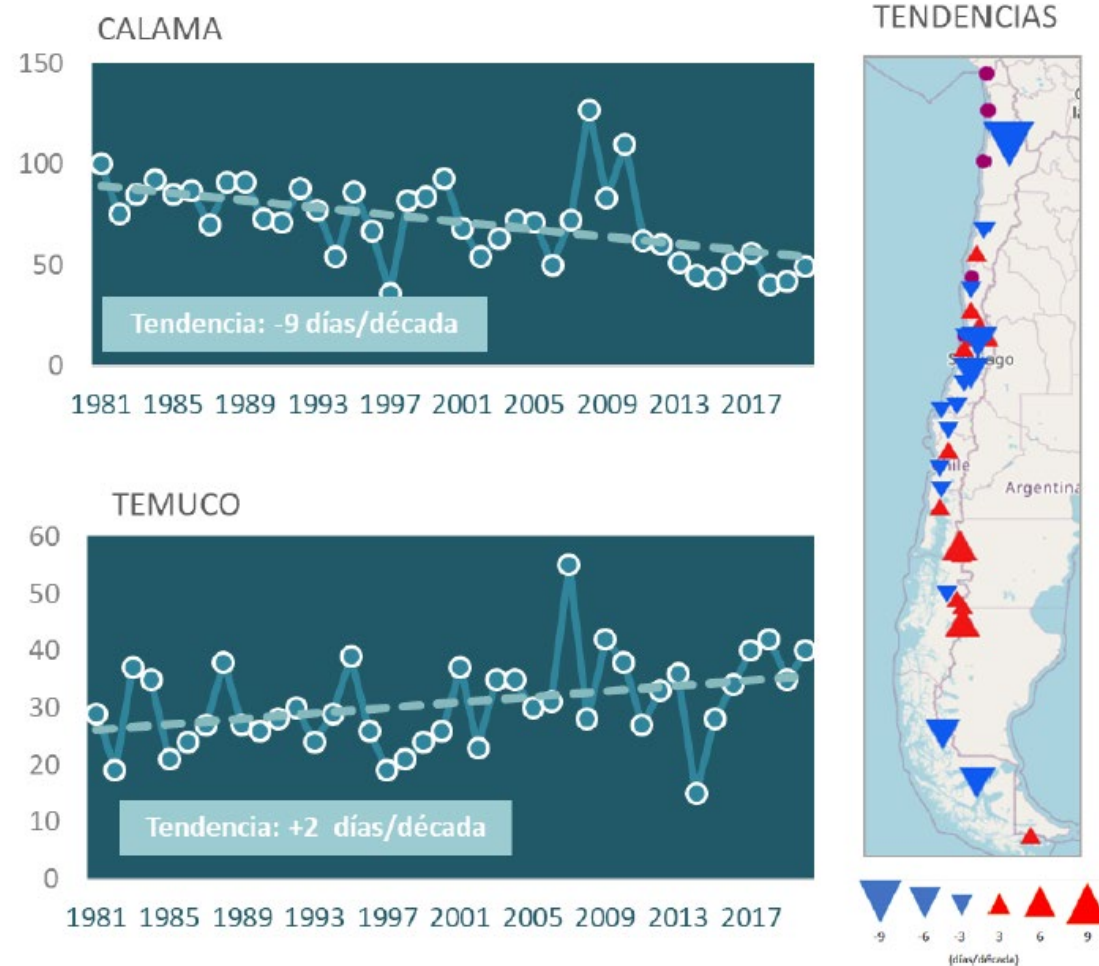


Fig. 25: Días con heladas en Calama (panel superior) y Temuco (panel inferior). A la derecha se muestra el mapa de tendencias de FD0, donde los triángulos rojos indican incremento y los triángulos azules hacia abajo indican

Evolución del numero de olas de calor

Fuente: Reporte del clima 2020 DMC

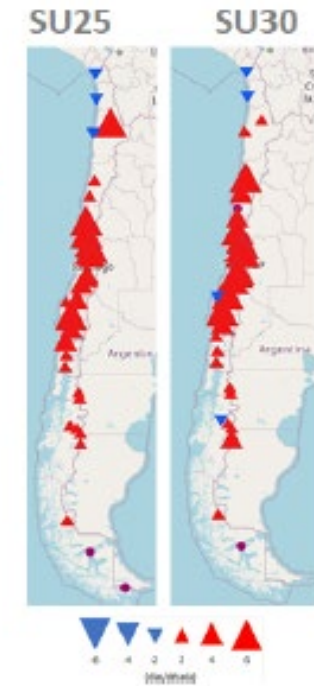
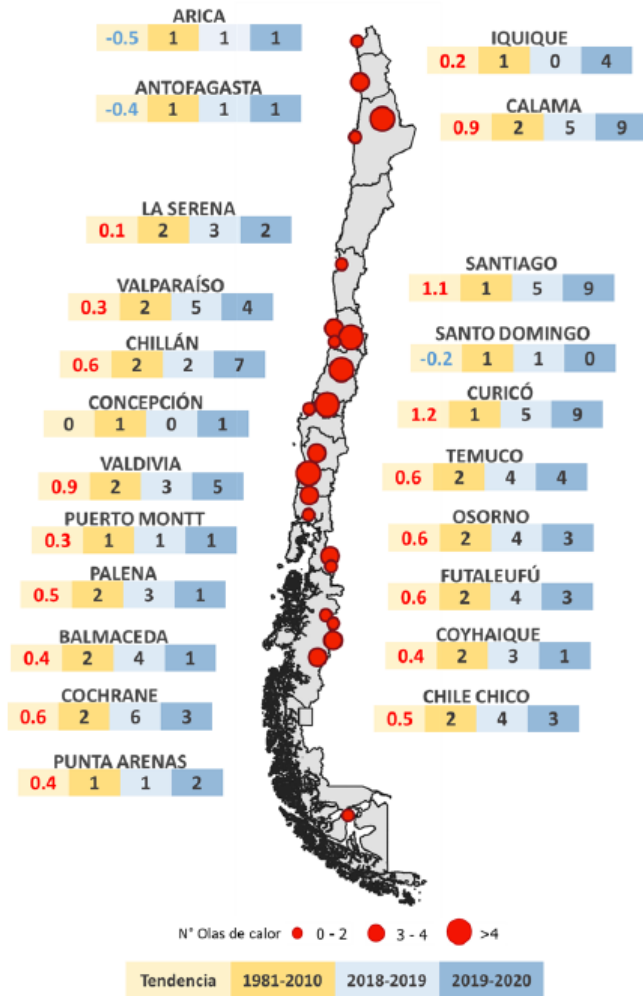
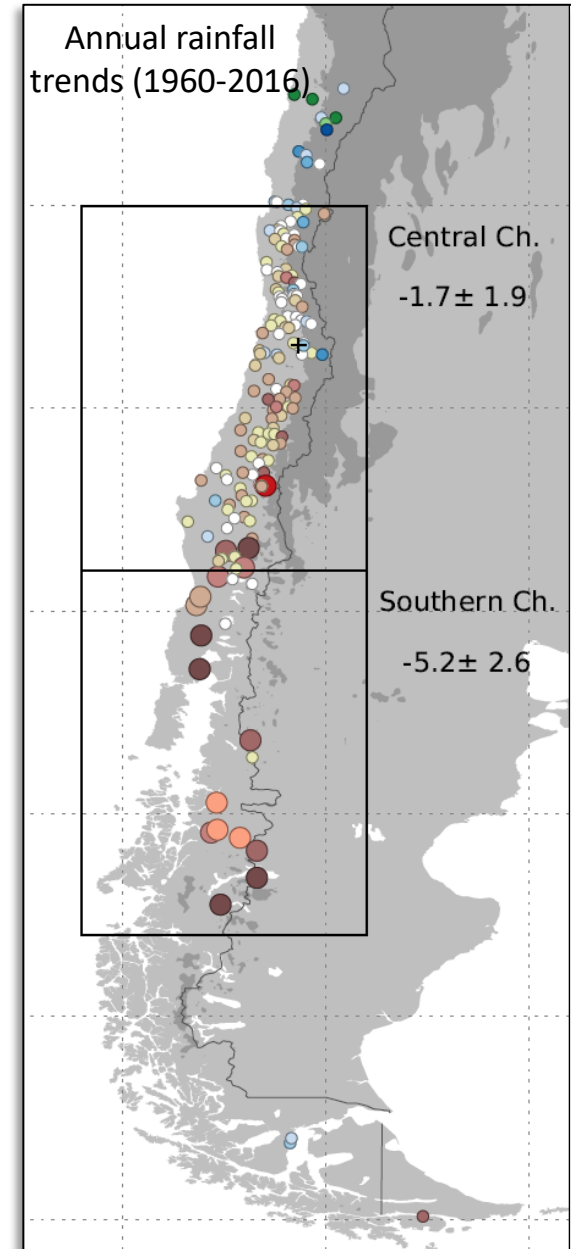
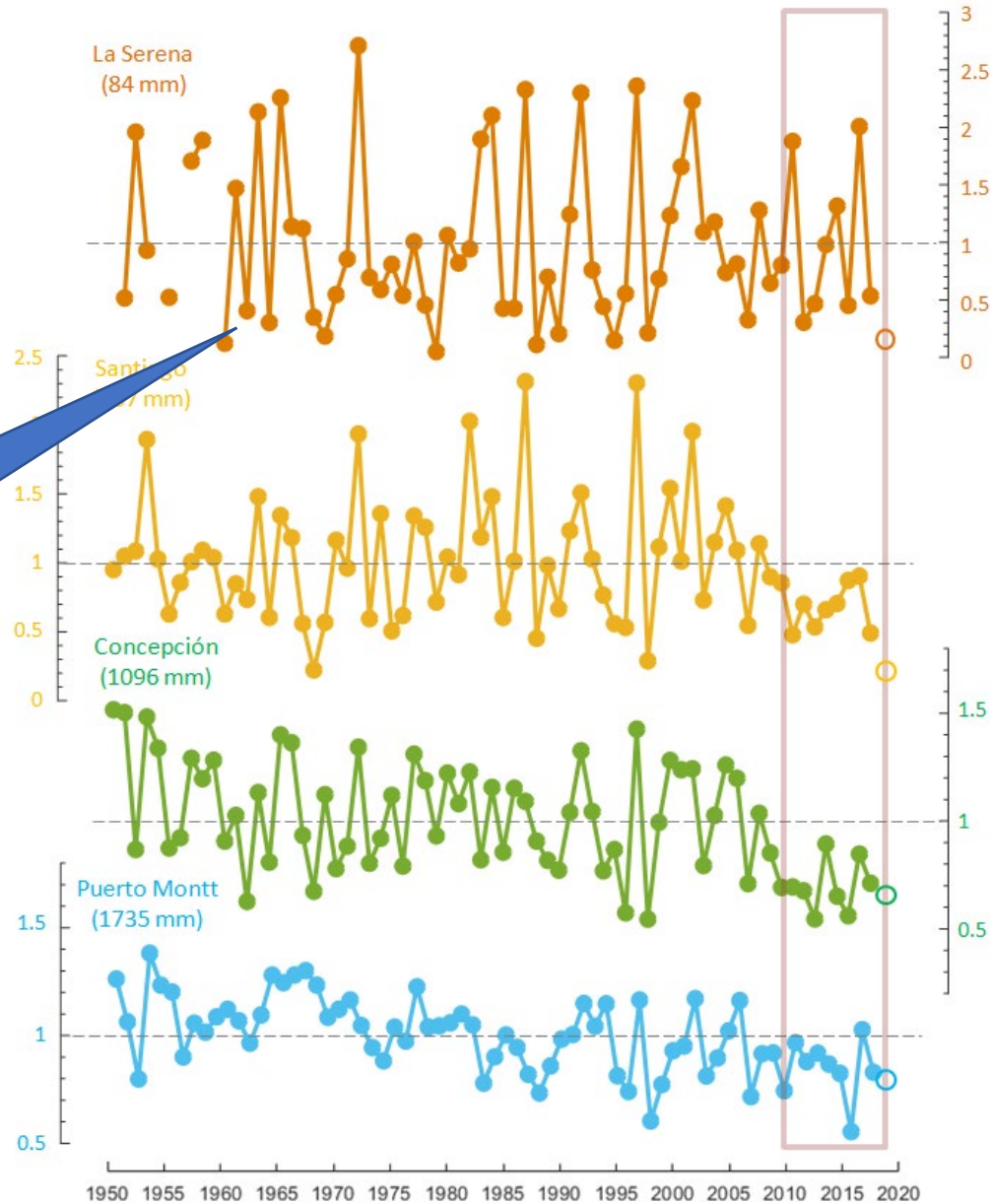


Fig. 28: Mapa de olas de calor. El tamaño de los círculos rojos es proporcional al número de OC registrados en la temporada 2019-2020. Los recuadros amarillo claro muestran la tendencia. En amarillo oscuro el promedio climatológico (1981-2010), en celeste la temporada 2018-2019 y en azul la temporada 2019-2020.

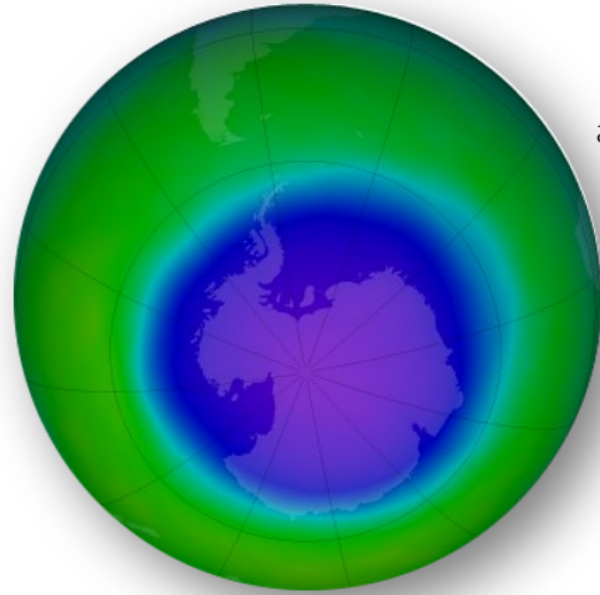
Tendencias variables pero en general secamiento

ENSO
driven
variability



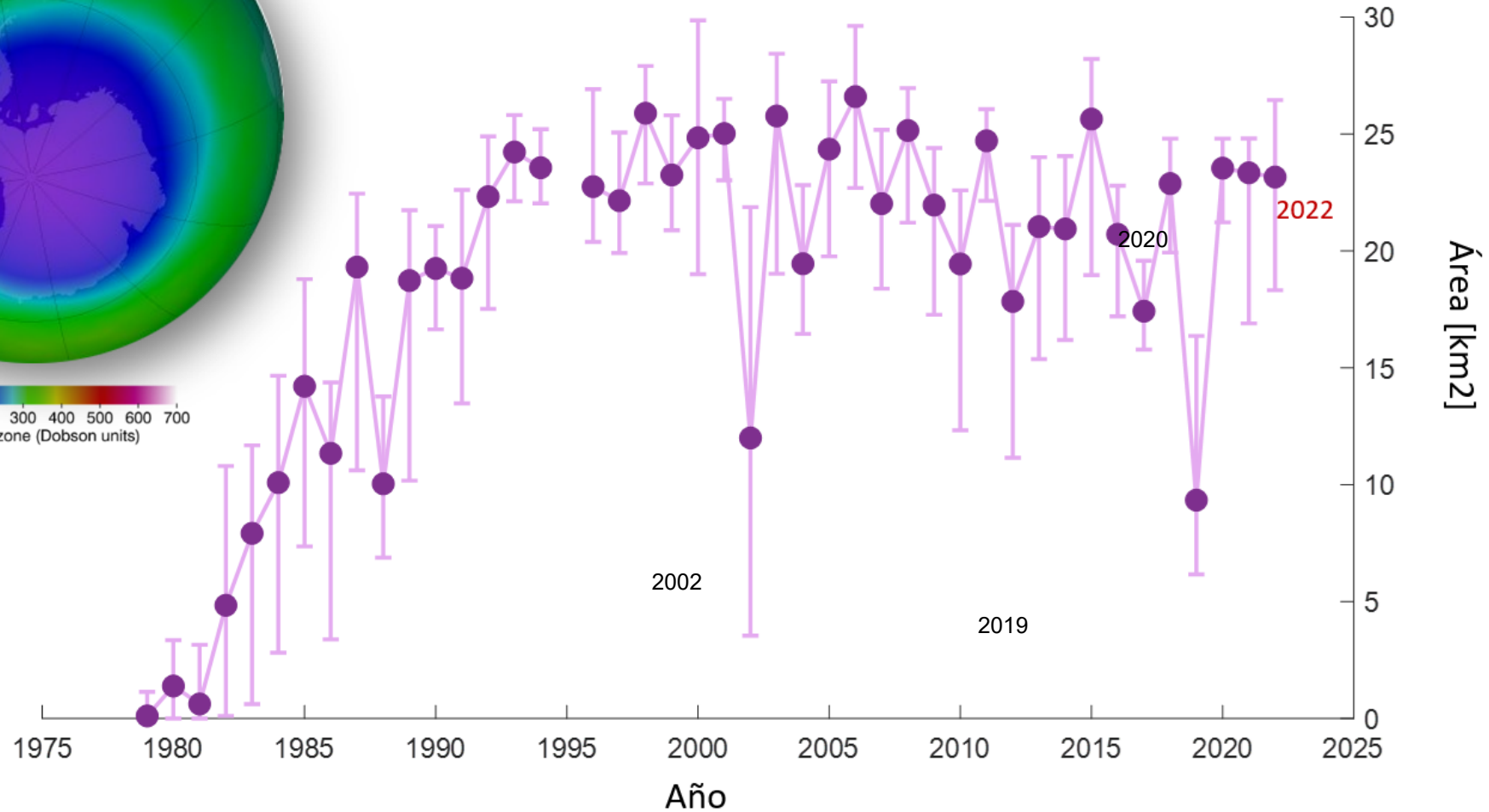
Tamaño del agujero de ozono sobre el hemisferio sur en primavera

Primavera 2022

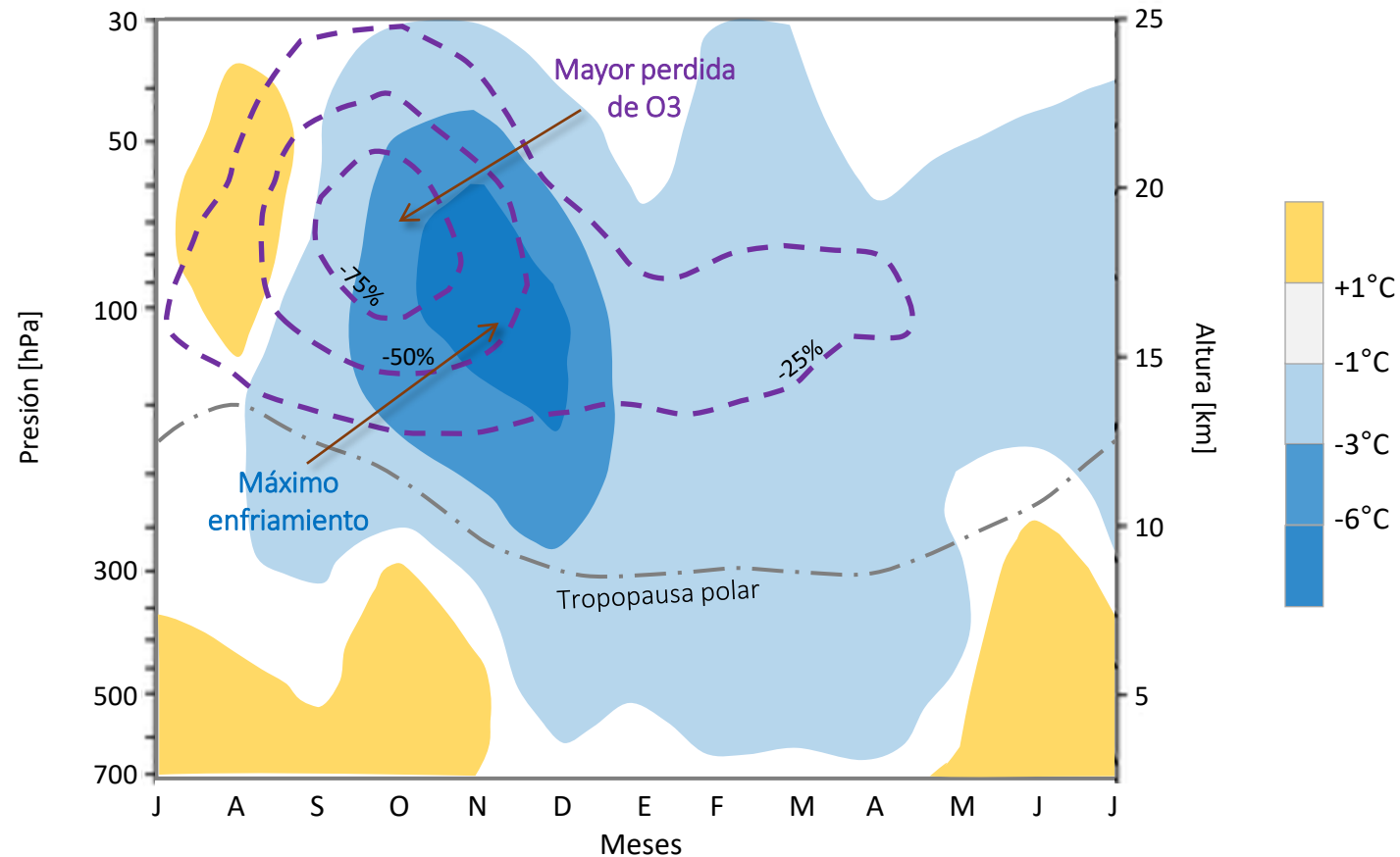


0 100 200 300 400 500 600 700
Total Ozone (Dobson units)

El tamaño es el área con concentraciones muy bajas de O₃ (menores a 220 DBU, una medida de la cantidad de este gas en la columna atmosférica) sobre la zona antártica y subantártica entre el 13 de Septiembre y 17 de Octubre . Fuente: NASA



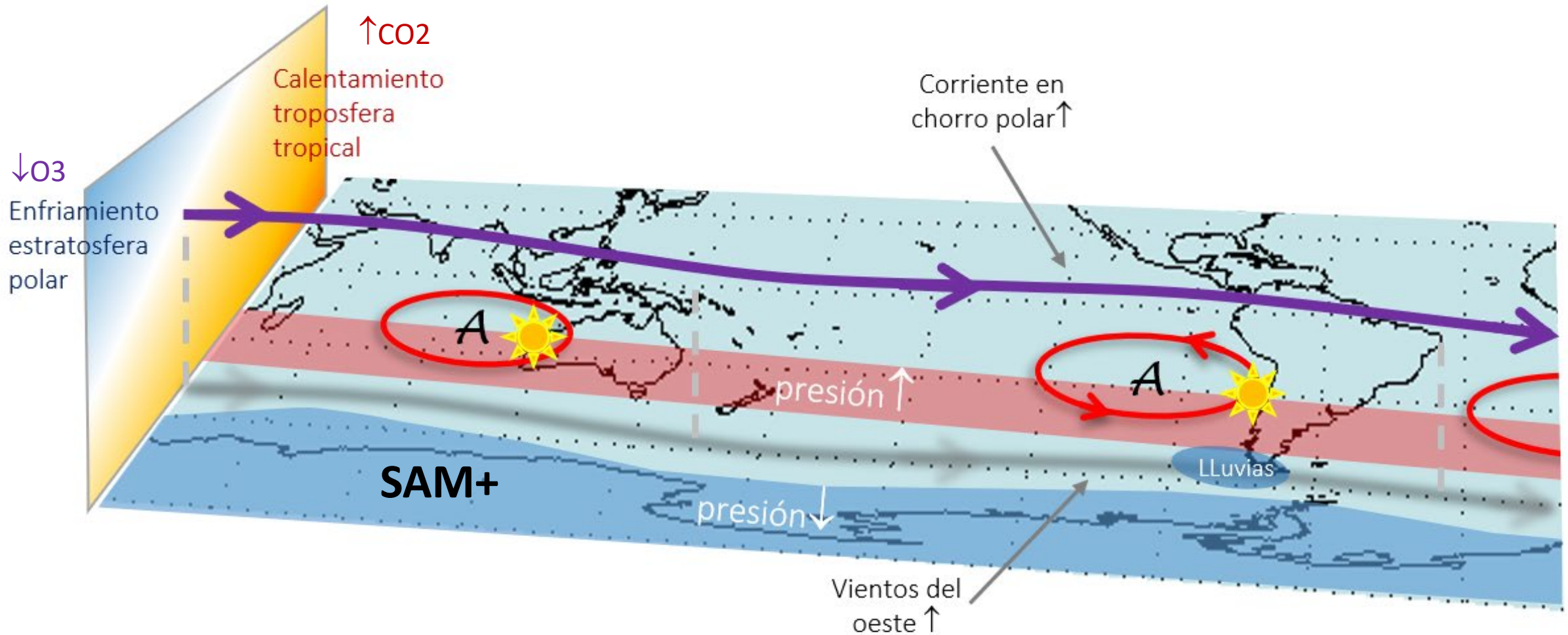
Tendencias en la atmosfera polar (65°-90°S): **Ozono** (contornos) y **temperatura** (colores) entre 1980 y 2020



Resultado relevante: Enfriamiento máximo en la estratosfera sobre Antártica

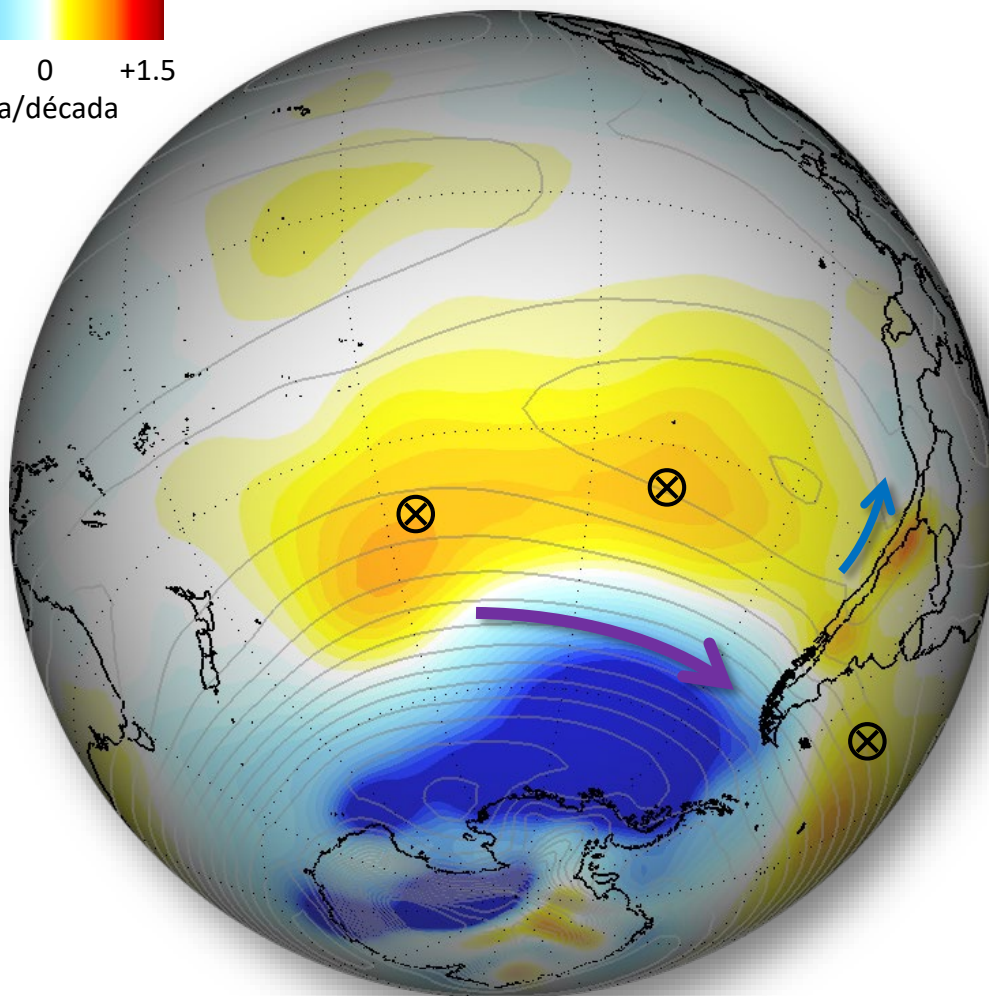
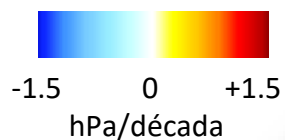
Tendencias Observadas en las últimas 4 décadas

Cambio Climático – Impactos en Chile



Tendencias Observadas 1979-2020

Presión a Nivel del Mar



Clima en Chile

Marcado calentamiento en precordillera del centro y norte (en especial Tmax/verano)

Enfriamiento costero zona centro norte

Tendencia moderada de secamiento en zona central (invierno)

Marcada tendencia de secamiento en Patagonia norte (invierno y verano)

Leve tendencia de mayor precipitación (lluvia) en Magallanes



MUY
INTERESANTE
DOC, PERO
**CÓMO ES
EL FUTURO?**



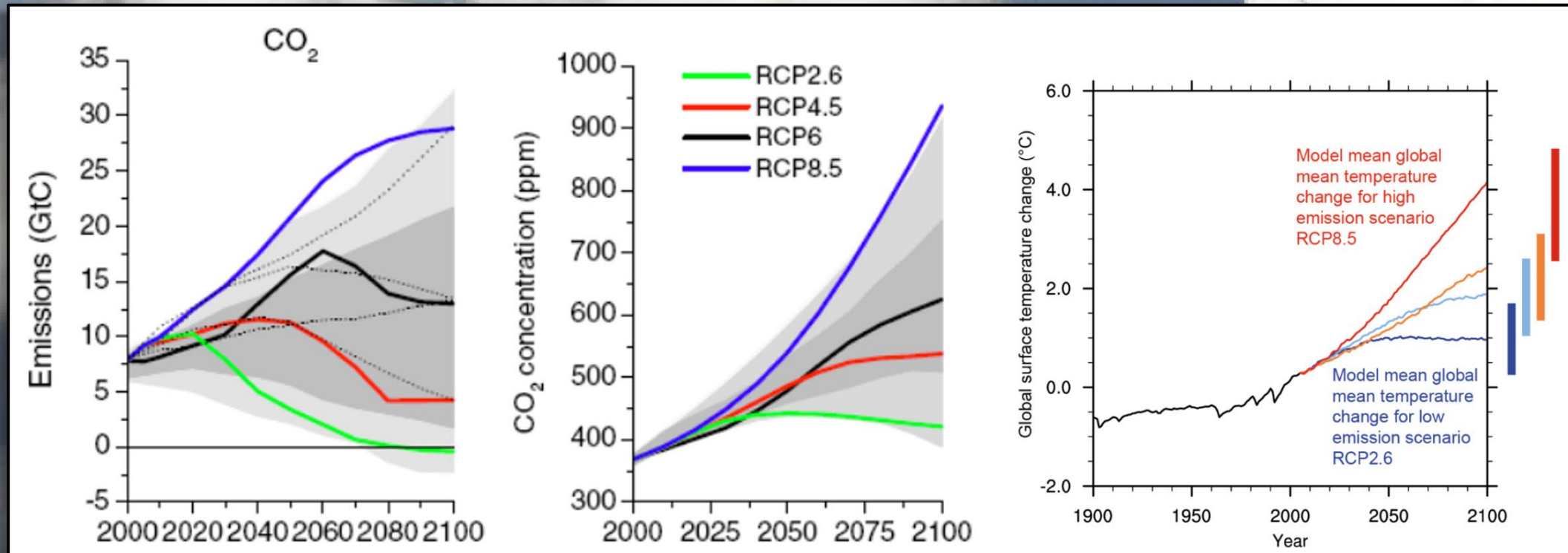
**La mayor
fuente** de
incertidumbre
del futuro
climático...

¿Cuánto **CO2 inyectaremos** en el siglo XXI?

¿Cuánto **CO₂** inyectaremos en el siglo XXI?

Escenarios Desarrollo
Económico-Social

Escenarios
Climáticos



Balance
De Masa

GCMs

La mayor fuente de incertidumbre...
¿Cuanto CO₂ inyectaremos en el siglo XXI?

La mayoría de los informes sobre Cambio
Climático emplean RCP8.5....pero....

The RCP8.5 scenario assumes ominous breaks in several important and long-standing trends. As such it provides a valuable warning against complacency and a reminder to prepare for extreme outcomes. But that meant that there was no business as usual scenario, a critical component for forecasting.

“Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization” by Keywan Riahi, Arnulf Grubler, and Nebojsa Nakicenovic, Technological Forecasting and Social Change, September 2007

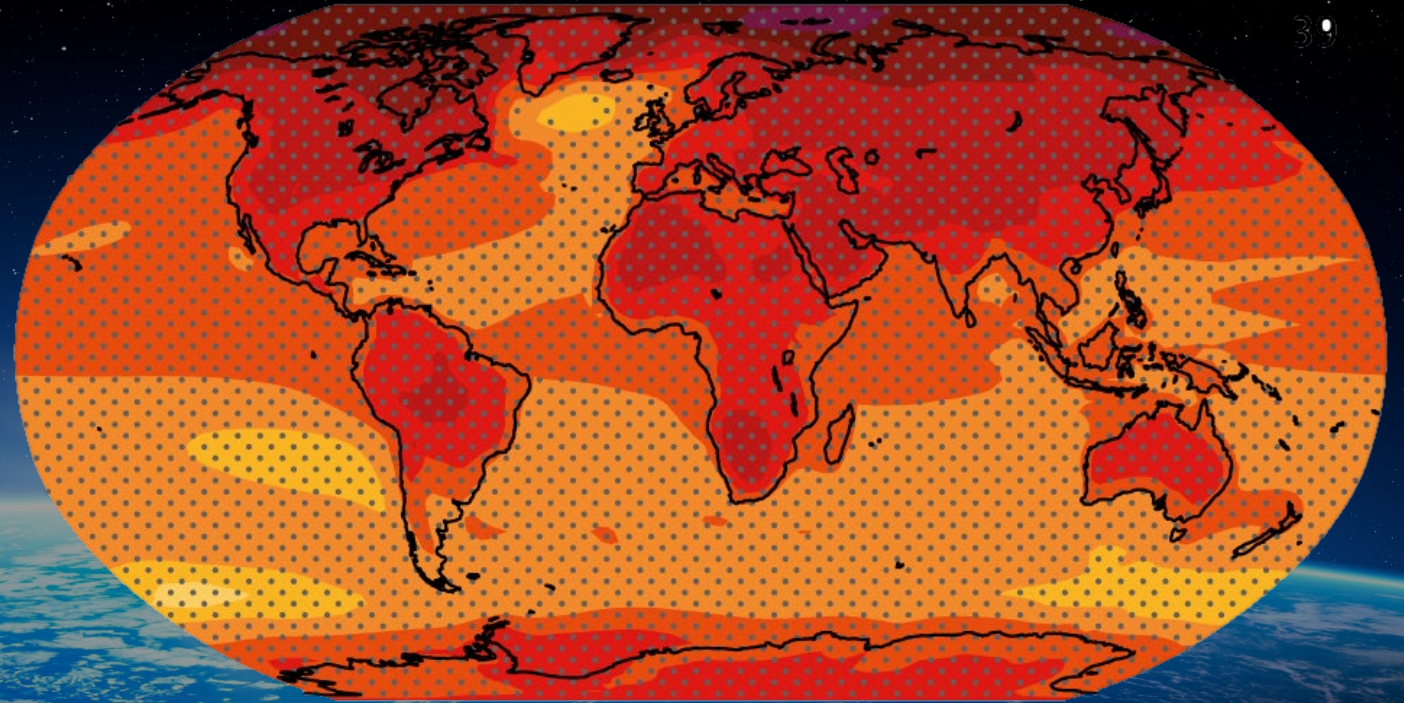
Proyecciones Climáticas Globales

para fines del siglo XXI
bajo escenario RCP8.5

(1000 ppm CO₂ a fines de siglo)

Promedio 39 GCM

Temperatura



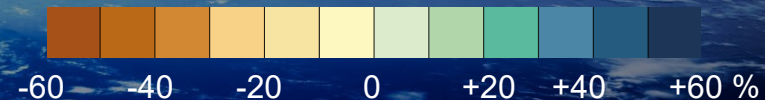
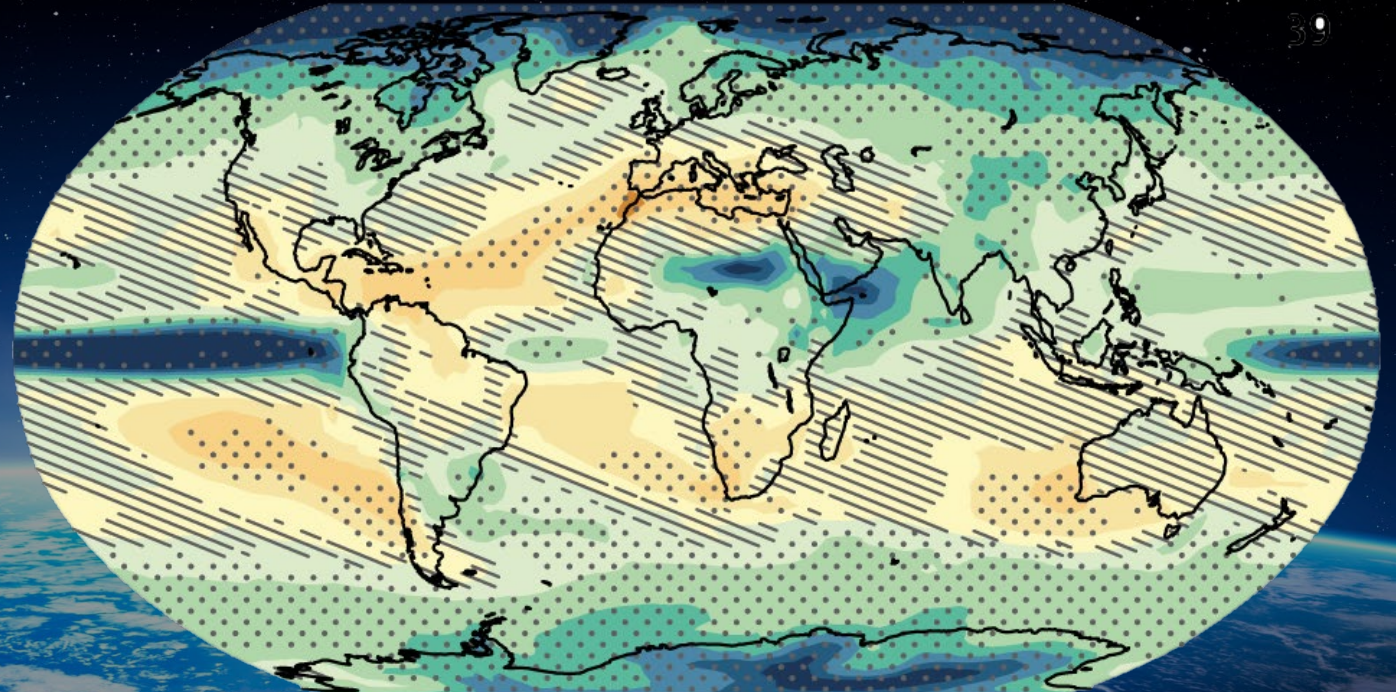
Proyecciones Climáticas Globales

para fines del siglo XXI
bajo escenario RCP8.5

(1000 ppm CO₂ a fines de siglo)

Promedio 39 GCM

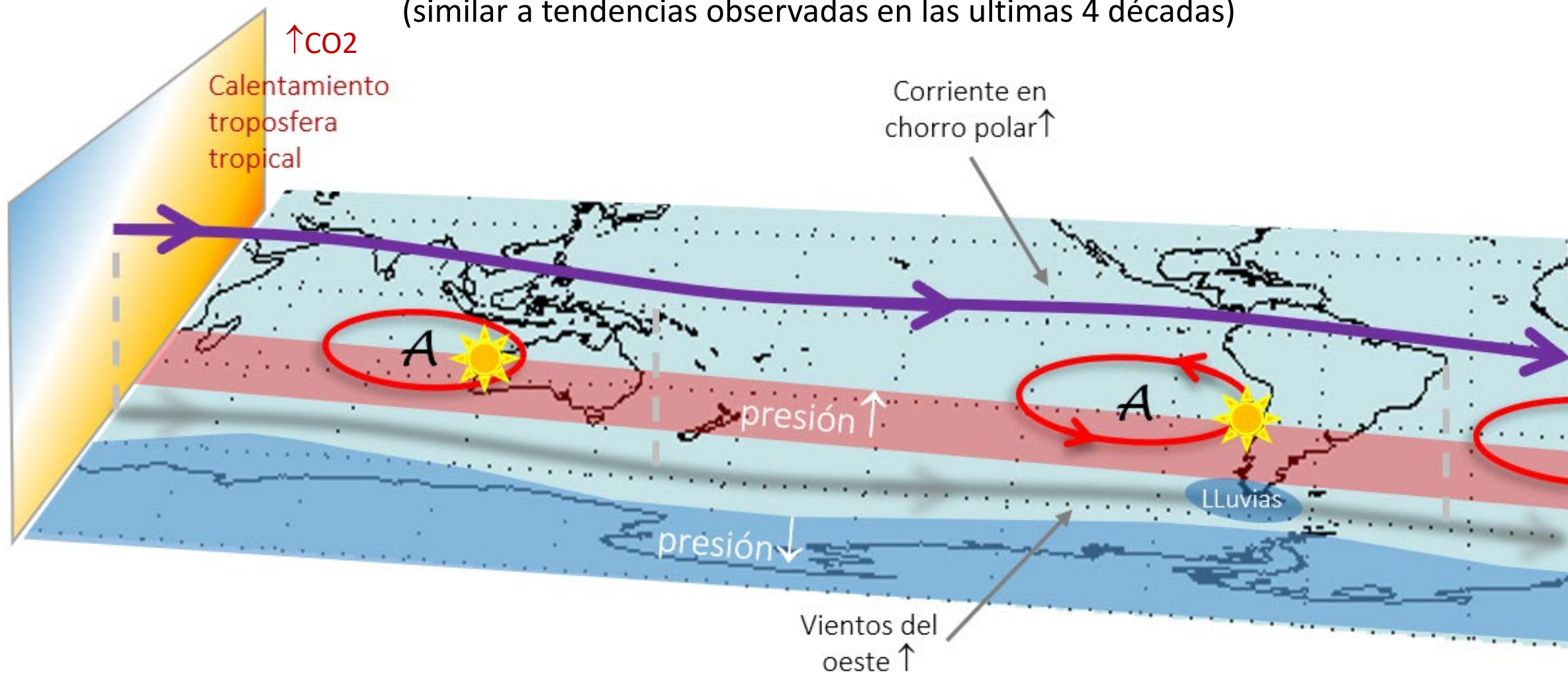
Precipitación



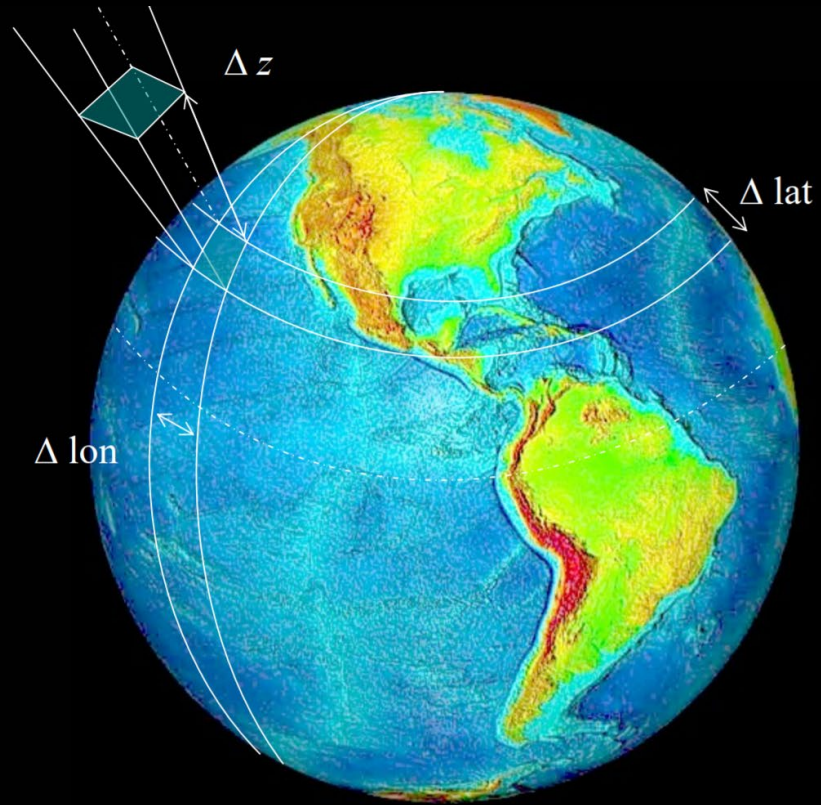
Proyecciones para el resto del siglo XXI

Cambio Climático – Impactos en Chile

(similar a tendencias observadas en las ultimas 4 décadas)



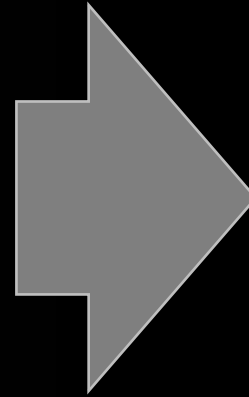
Modelo Global



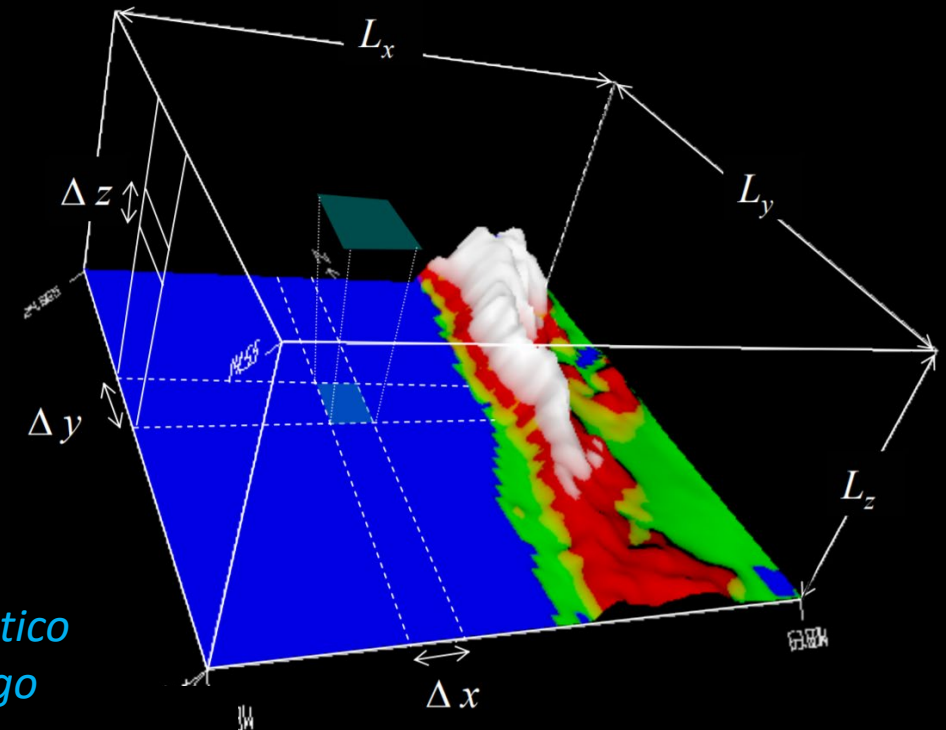
$$\Delta \text{lat} \sim \Delta \text{lon} \sim 1^\circ - 3^\circ$$

Grilla Interpolada

*Escalamiento
dinámico*

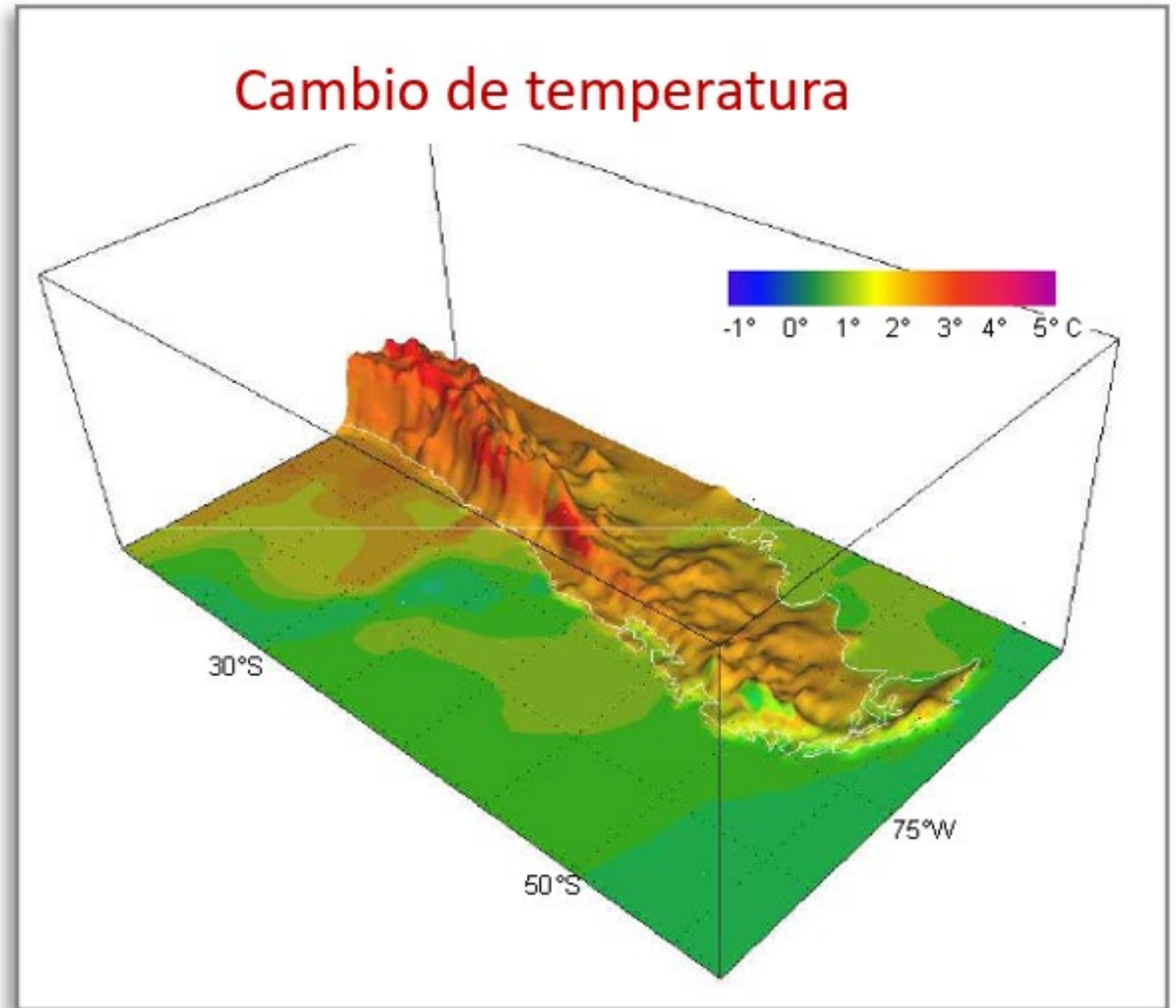


*Escalamiento estadístico
y corrección de sesgo
(ARClím)*



$$\Delta x \sim \Delta y \sim 1-50 \text{ km} \quad \Delta z \sim 50-200 \text{ m}$$
$$L_x \sim L_y \sim 100-5000 \text{ km}$$

Proyecciones regionales
Escenario pesimista (RCP8.5)
fin de siglo (2070-2100)
Cambio en condiciones medias en
Chile central respecto a condición
histórica (1980-2010):
Aumento de temperatura 1-2°C (*);



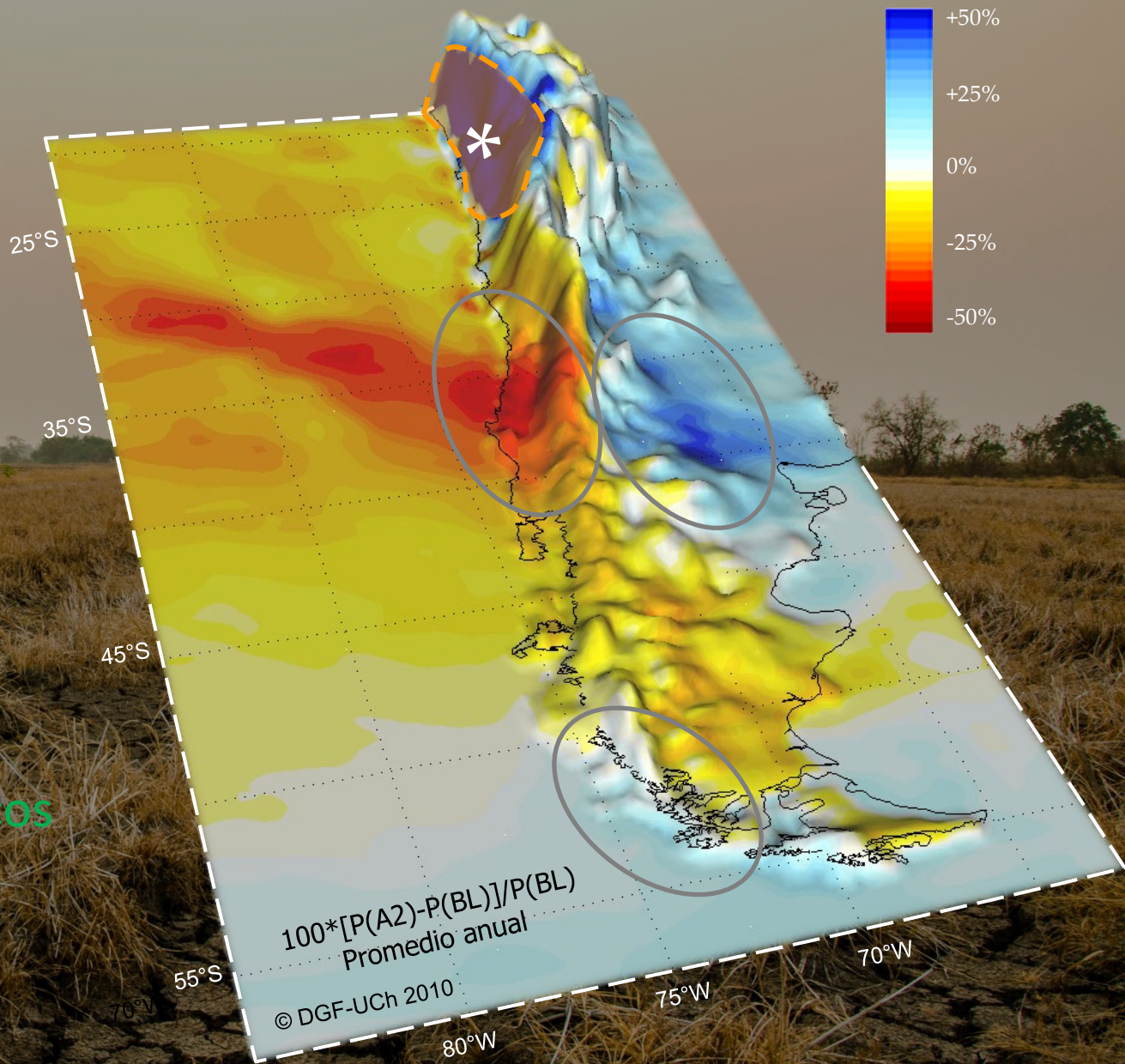
Proyecciones Climáticas para Chile

Fines de siglo (2070-2100) bajo un escenario pesimista (A2 / RCP8.5)

Incremento de temperatura de 2.5-3.5°C

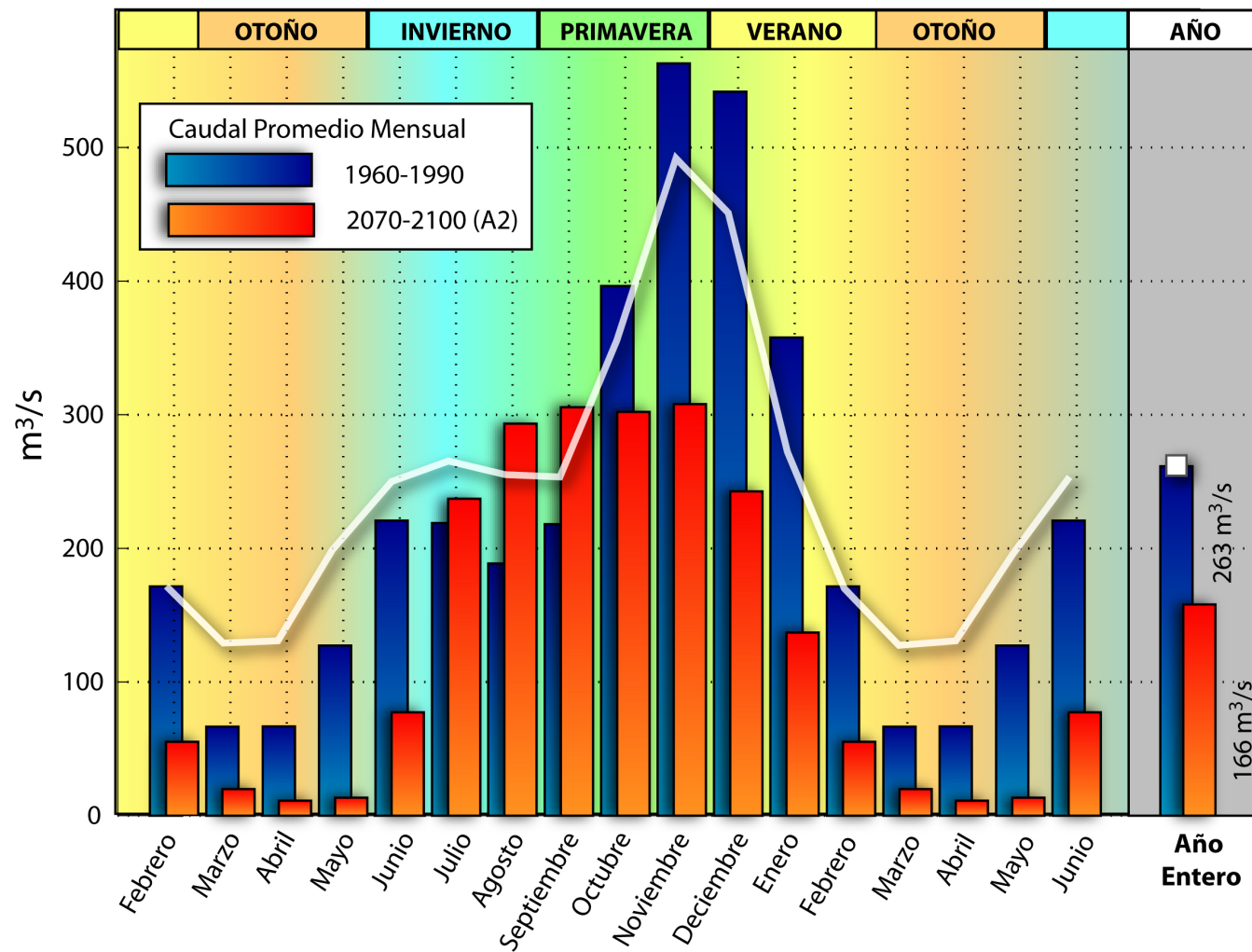
Déficit de precipitaciones de 25-35%

– lluvia + temperatura = cambios hidrológicos



PRECIS-DGF Acomplamiento con modelos hidrológicos.

CAUDAL SIMULADO DEL RIO MAULE* - PRESENTE y FUTURO (A2)



* Rio Maule en Armerillo - Pre-Cordillera

Impactos Hidrológicos

Bozkurt et al. 2017

Vicuña et al. 2010

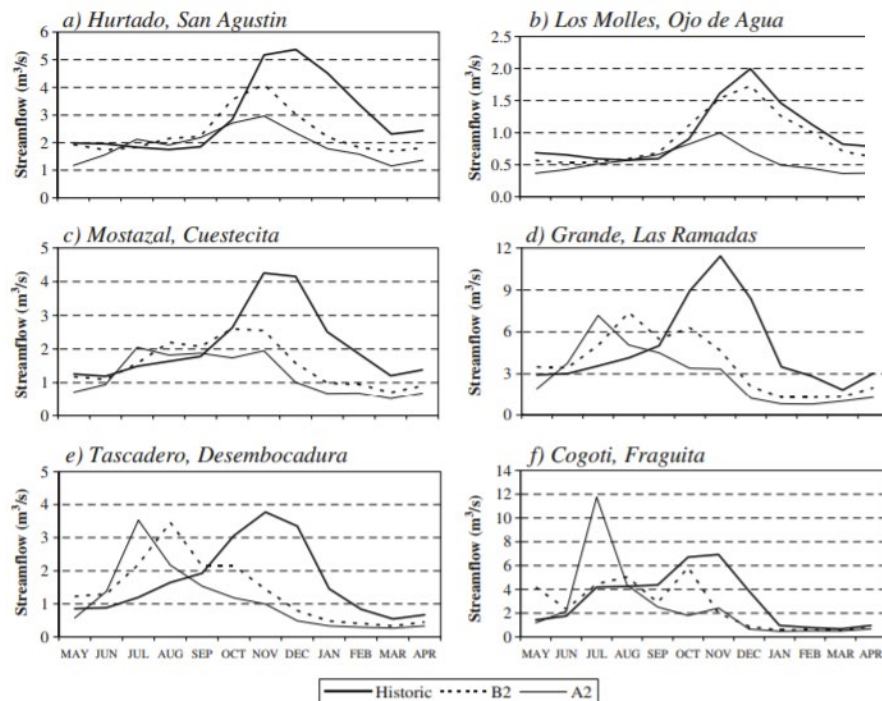
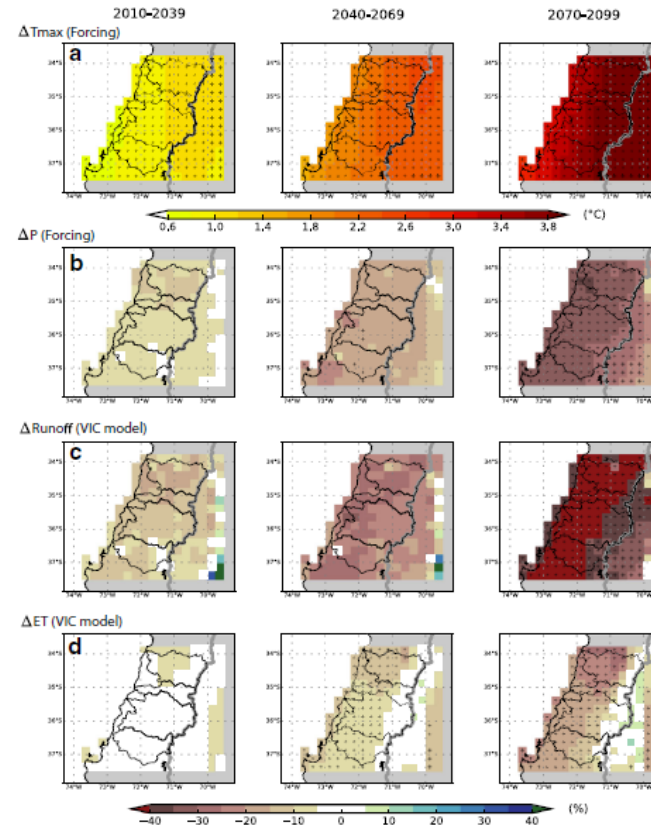


Fig. 6 WEAP simulated long-term monthly mean stream flow at six stations that define the upper subbasins of the Limarí system. WEAP was forced by three climate scenarios (as simulated by PRECIS): baseline conditions (1960–1990; *thick lines*), B2 conditions (2071–2100, *thin dashed lines*) and A2 conditions (2071–2100, *thin solid lines*)



Aguayo et al. 2018

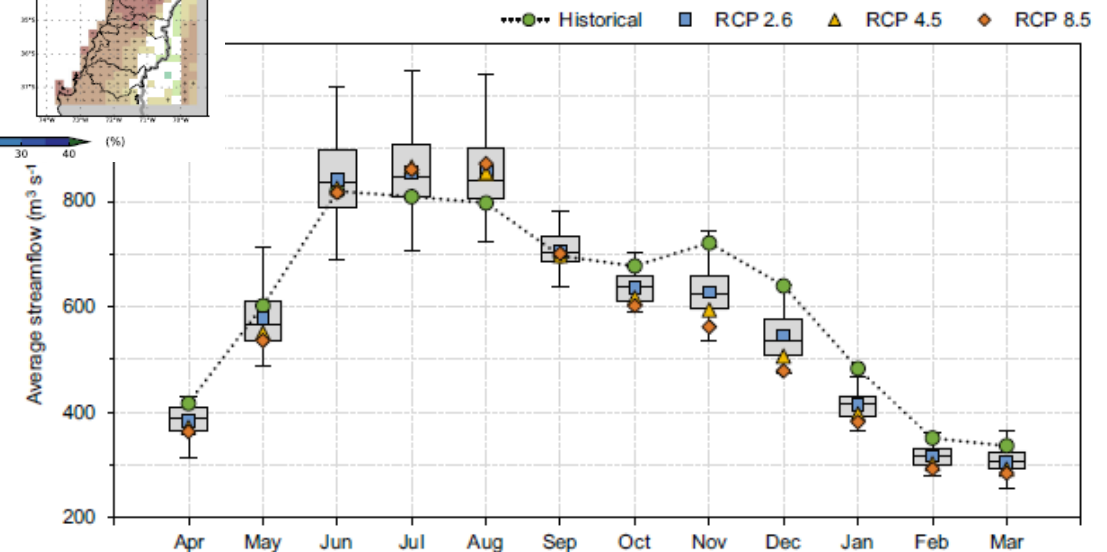


Fig. 7 Hydrological sensitivity of the Puelo River. The green circles indicate the monthly average streamflow of the period 2003–2017. The box plots represent the monthly streamflow modeled for the near future (2030–2060) according to the emission scenarios RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 8.5 (see Fig. 6)

Mayor frecuencia de tormentas cálidas en el futuro?

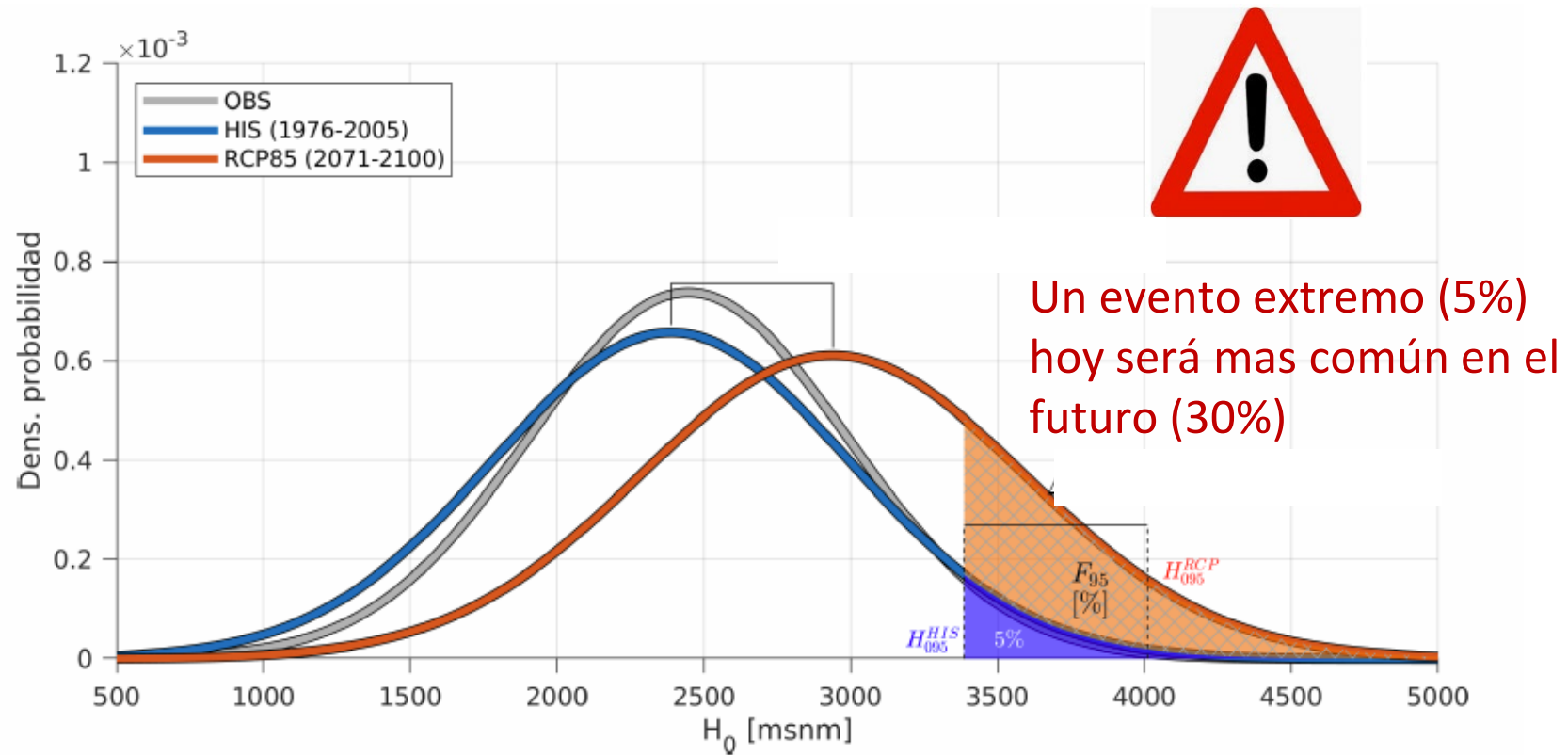
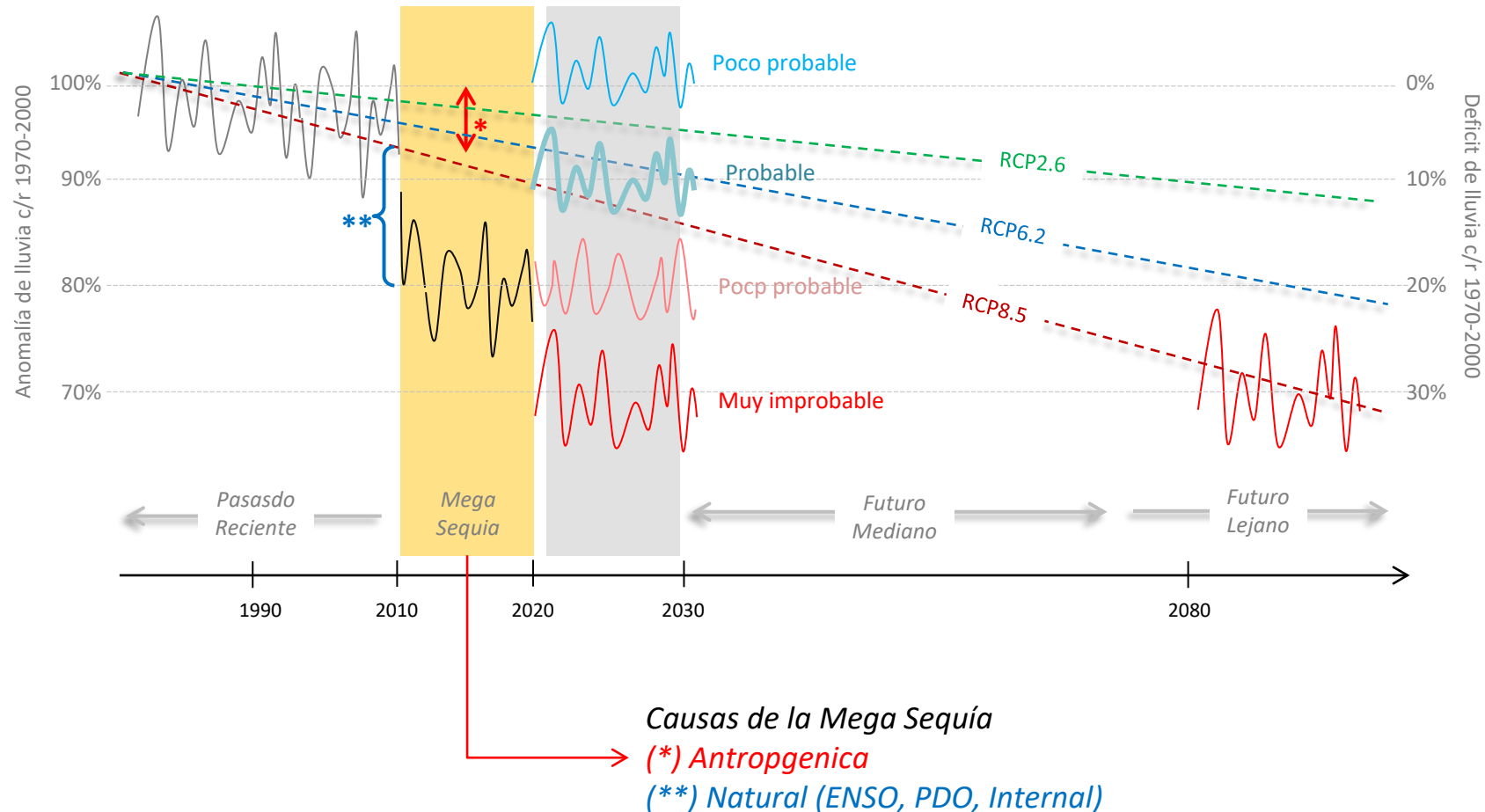


Figura 4.18: Esquema de la distribución de H_0 para días con precipitación (gris) observada en Santo Domingo, (azul) periodo histórico y (rojo) fines de siglo con el modelo CMCC-CM. Se representan además las métricas utilizadas las cuales fueron explicadas en la metodología.

La Mega Sequía en Chile central Llego el futuro? Aun no....



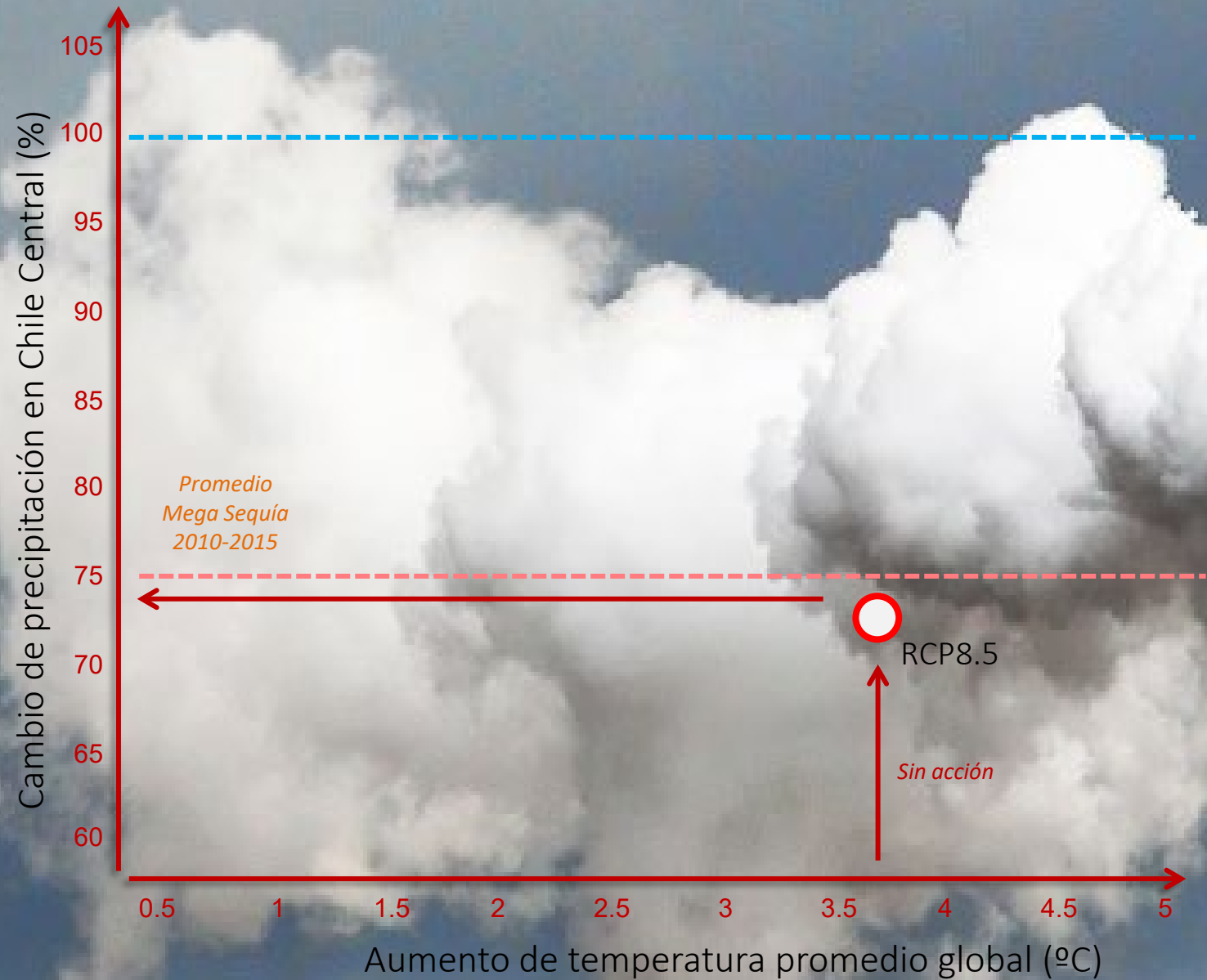
La Letra Chica

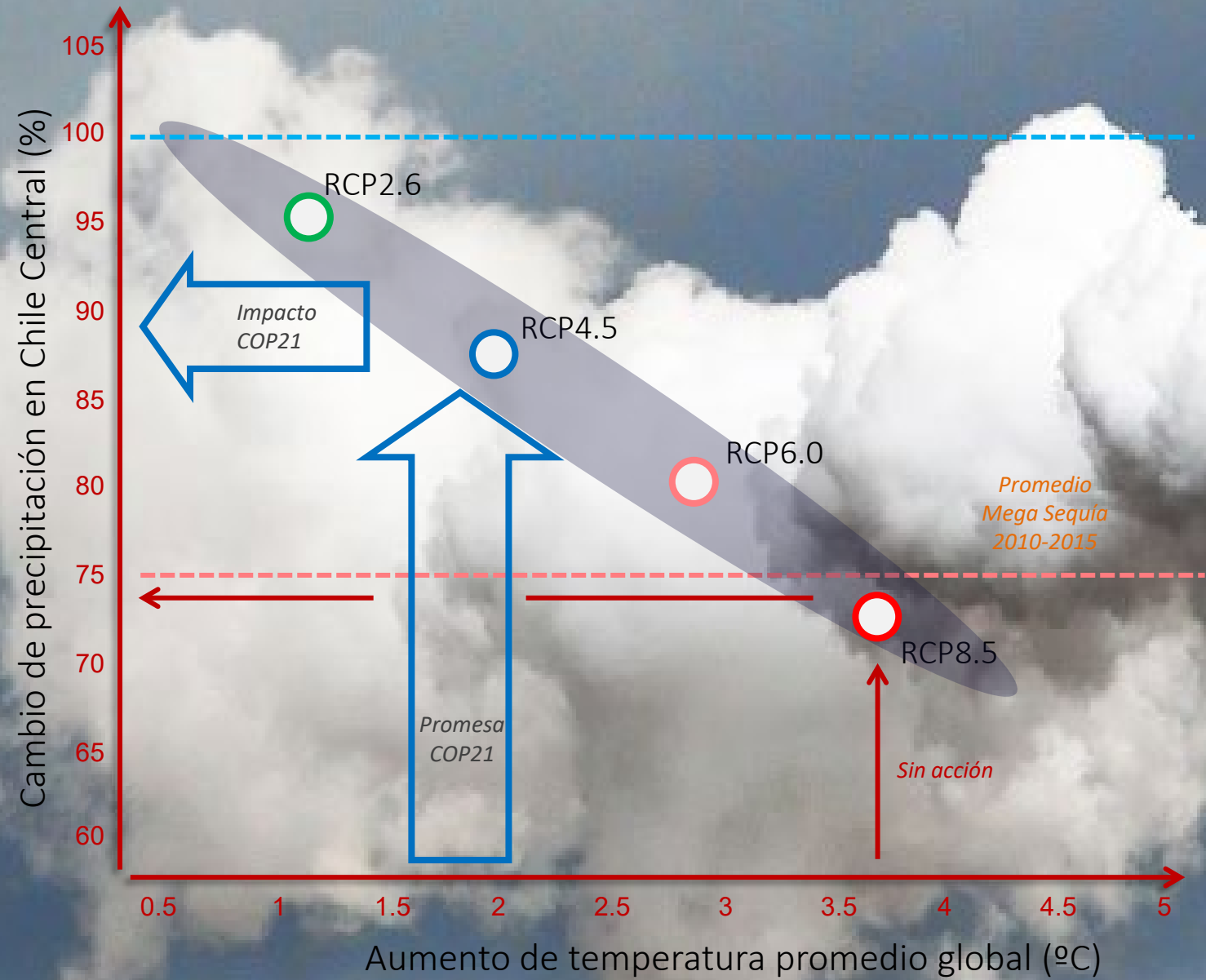


El futuro es abierto...

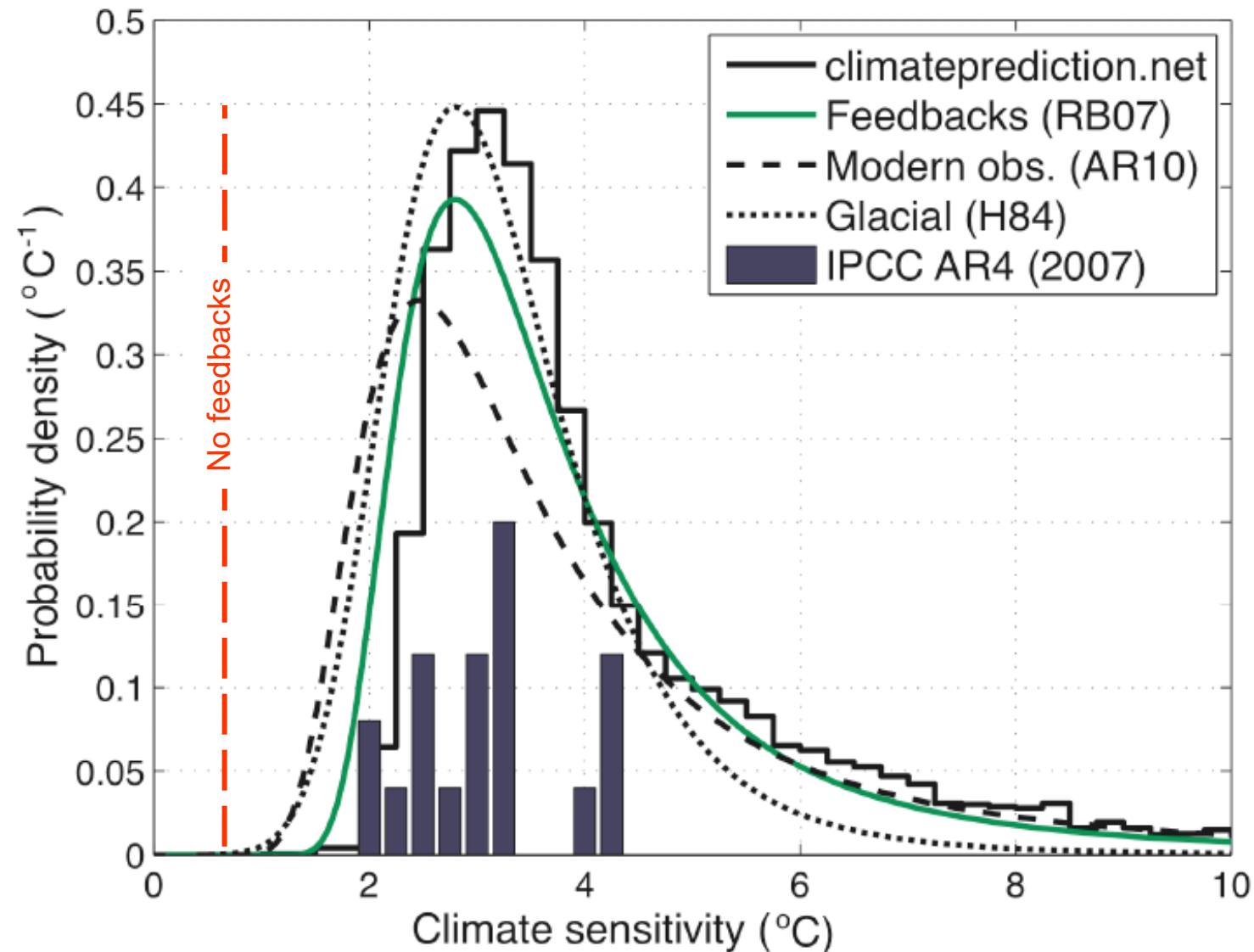
Cambio de precipitación y aumento de temperatura a fines de siglo (2070-2100) con respecto a clima actual (1970-2000).

Círculos indican promedio multi-modelo para cada escenario (32 modelos). Barras de error indican desviación estándar entre modelos.





Sensibilidad climática: $\Delta T(2\times\text{CO}_2)$



Ejemplo de incertidumbre en nuestras proyecciones de variables promedio

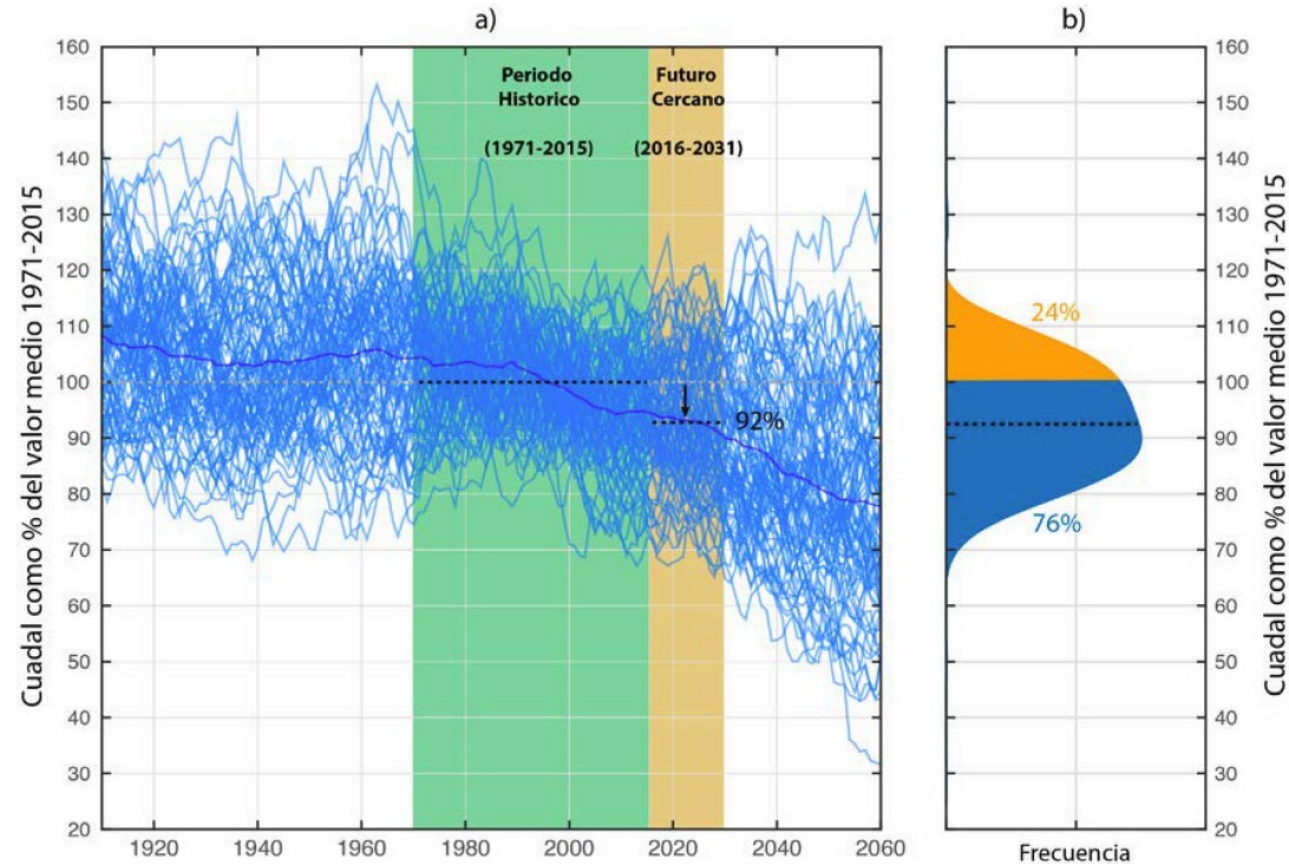


Figura 6.1 a) Series de tiempo del caudal medio anual en Maipo en el Manzano simulado por el modelo hidrológico para el periodo 1910 a 2060. Cada serie de tiempo representa el resultado de uno de los 99 simulaciones realizados con el ensemble de GCMs. A las series anuales se ha aplicado un filtro de promedio de móvil de 15 años, por lo cual cada valor mostrado es el promedio de un periodo de 15 años.

ENSO en el Futuro ????

Model predictions of future average conditions in tropical Pacific and ENSO variability

