

Variabilidad y cambio climático en el Altiplano Sud Americano

René D. Garreaud

*Departamento de Geofísica
Universidad de Chile*

Seminari



Cambio Climático Global: Bases Físicas e Impactos en Chile

Seminario "Cambio Climático y Huella de Carbono: Desarrollo y Eficiencia en la Agricultura Nacional"

Santiago, 9-Diciembre-2010

René D. Garreaud

*Departamento de Geofísica
Universidad de Chile*

El régimen de viento costero en escenarios de cambio climático global

*René D. Garreaud
Department of Geophysics
Universidad de Chile*

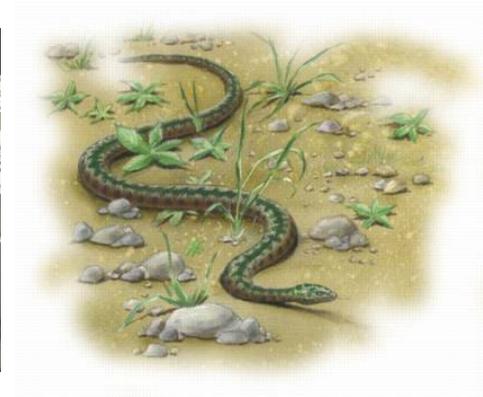
www.dgf.uchile.cl/rene

Seminario CONA-UNAB, 27 Agosto 2009

20 es demasiado!

La Ciencia del Cambio Global: Modelos, Millones y ~~Culebras~~

Viboras



René D. Garreaud

Departamento de Geofísica
Universidad de Chile

XI CONGREMET – Mendoza, Mayo 2012

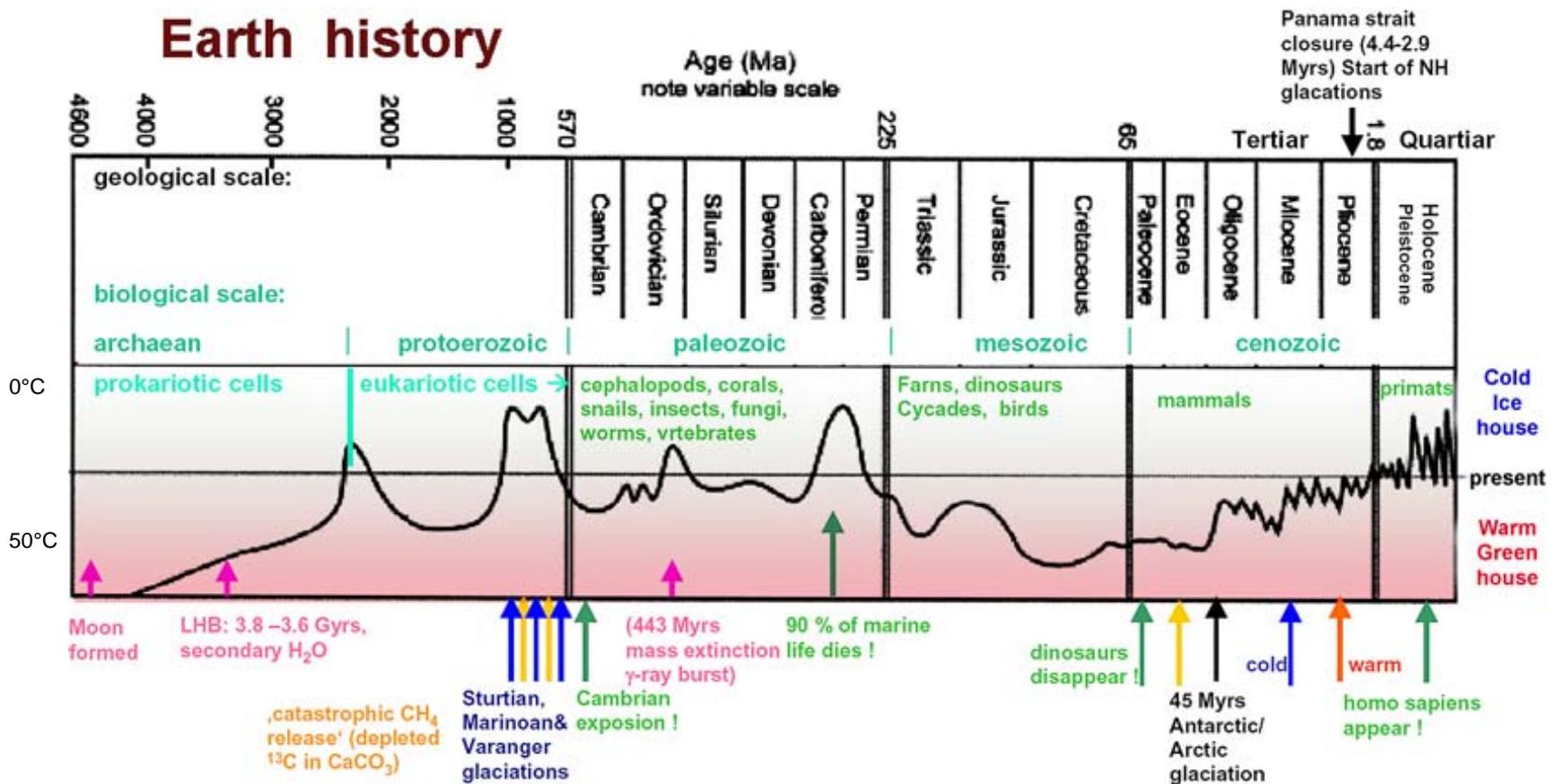
Agradecimientos especiales a Roberto Rondanelli y Maisa Rojas (DGF-UCh)

Modelos, Millones y Culebras

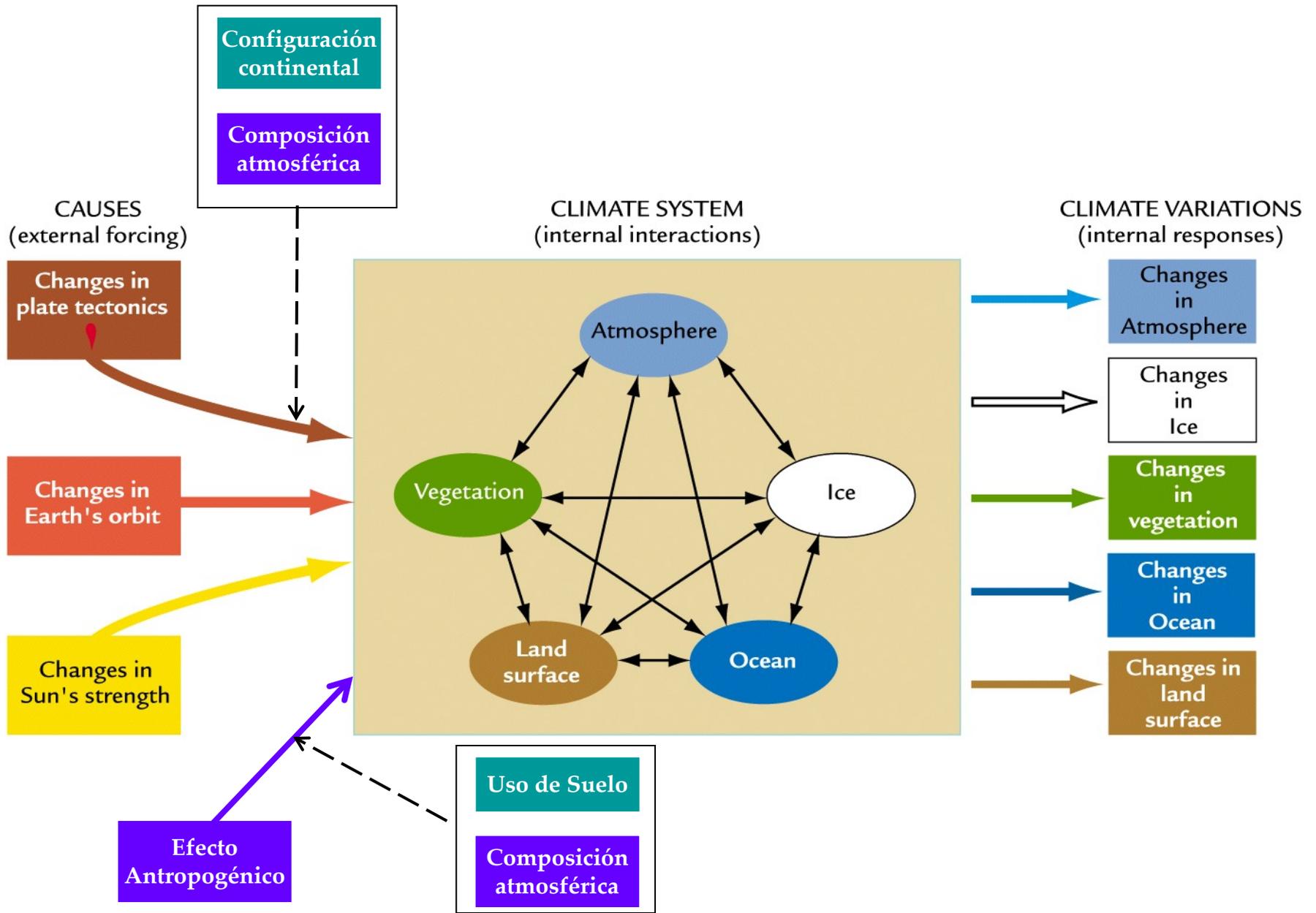
- ¿Ha cambiado el clima?
- La importancia del carbono en el clima
- Pronóstico para mañana
 - Cuanto CO₂ ponemos?
 - Necesitamos modelos!
 - La letra chica
- Sensibilidad climática y la Sra. Juanita
- Paleos al rescate
- Conclusiones

Historia climática del Planeta

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

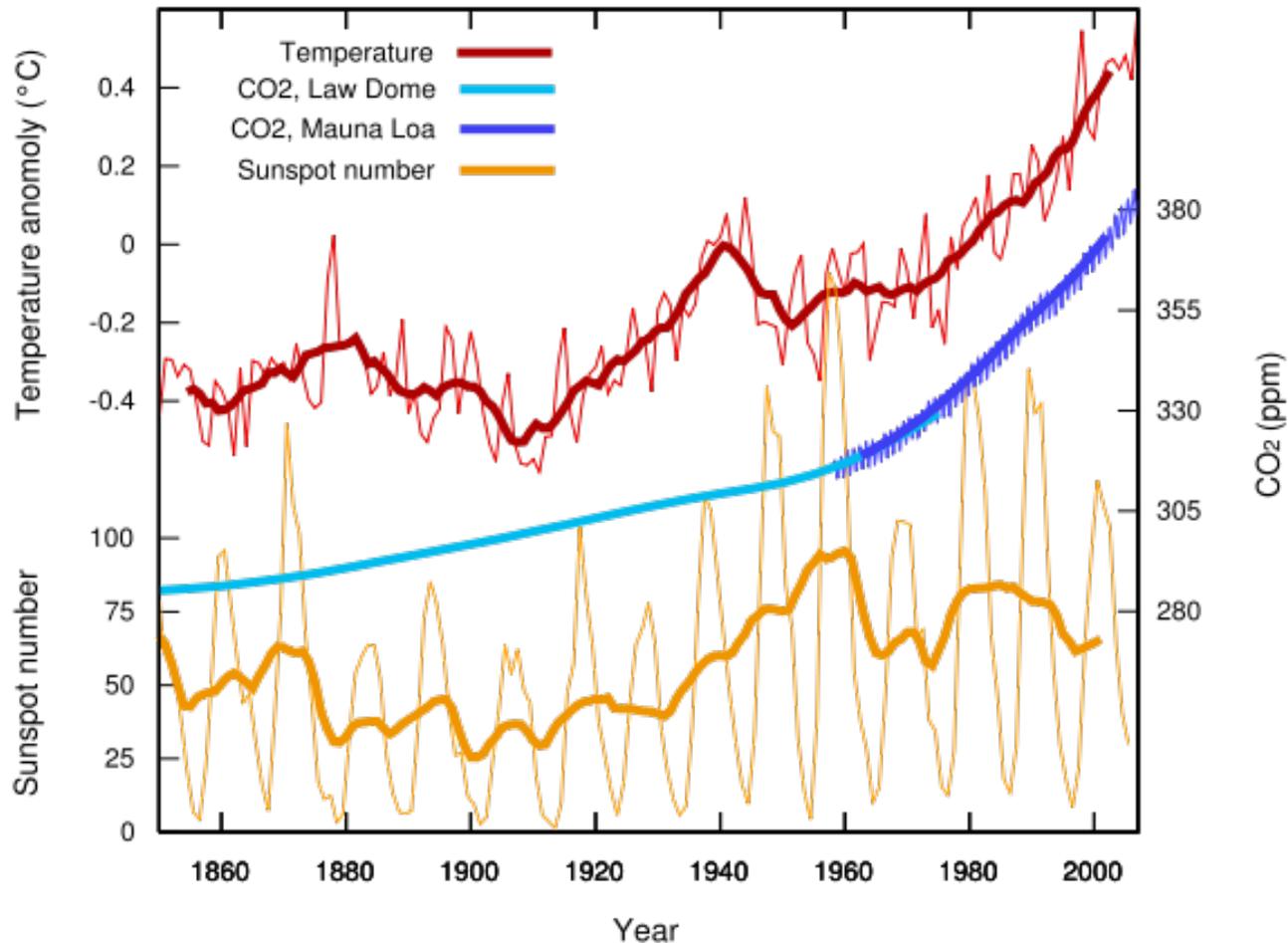


Historia climática del Planeta



Historia climática del Planeta: los últimos segundos / cambio climático antropogénico

Temperature, CO₂, and Sunspots



Cambios observados en Temp. Superficial

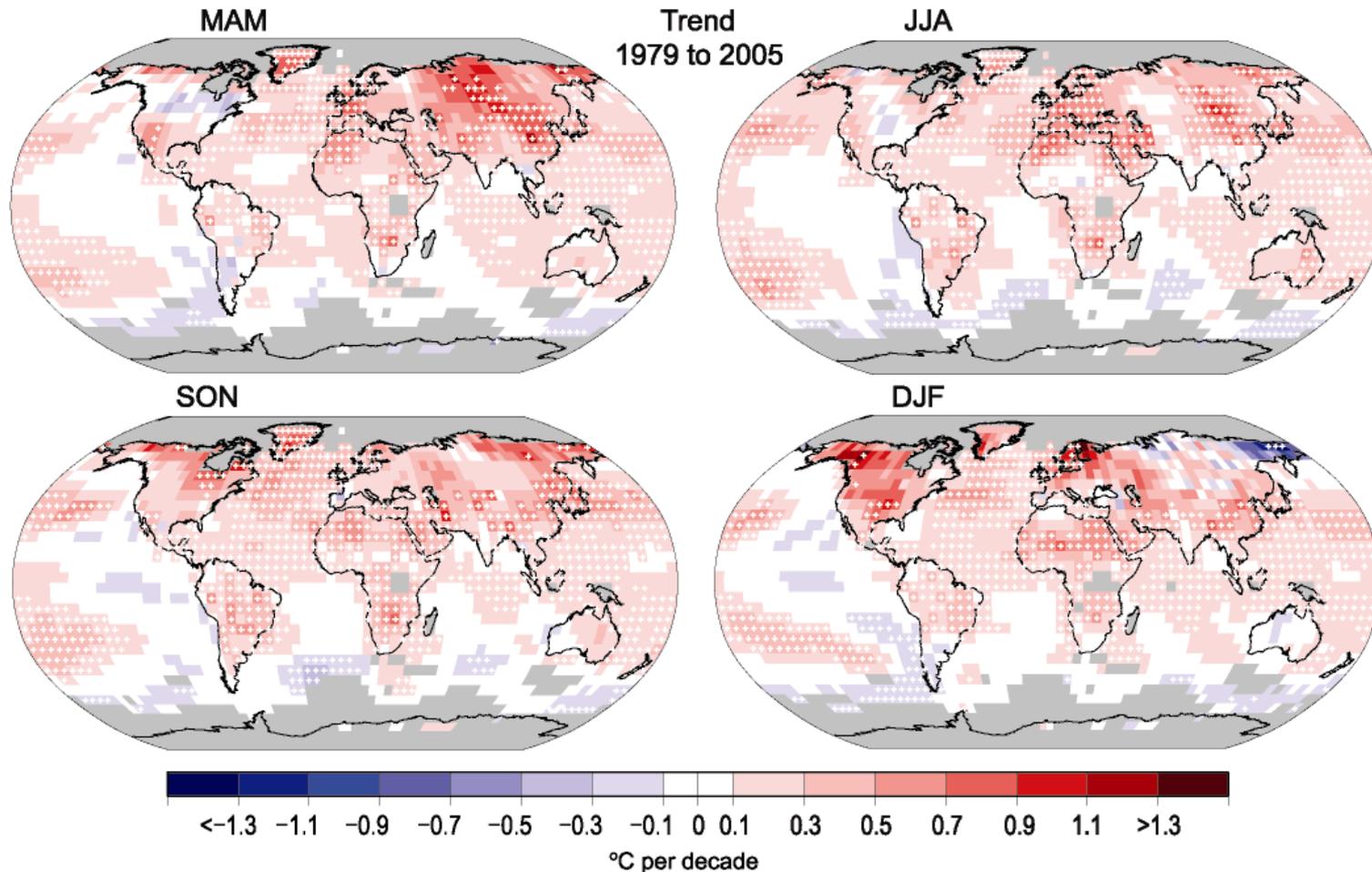
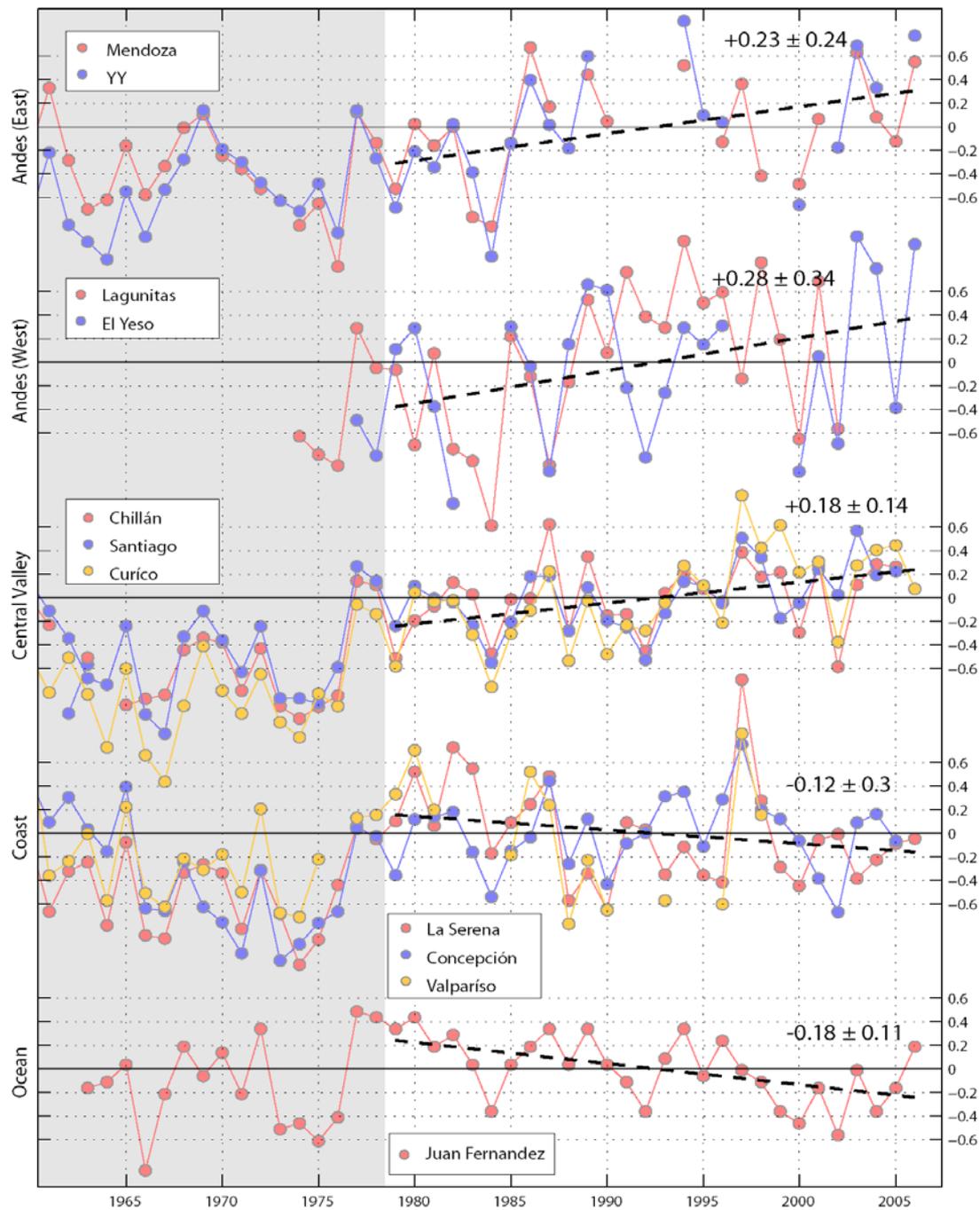
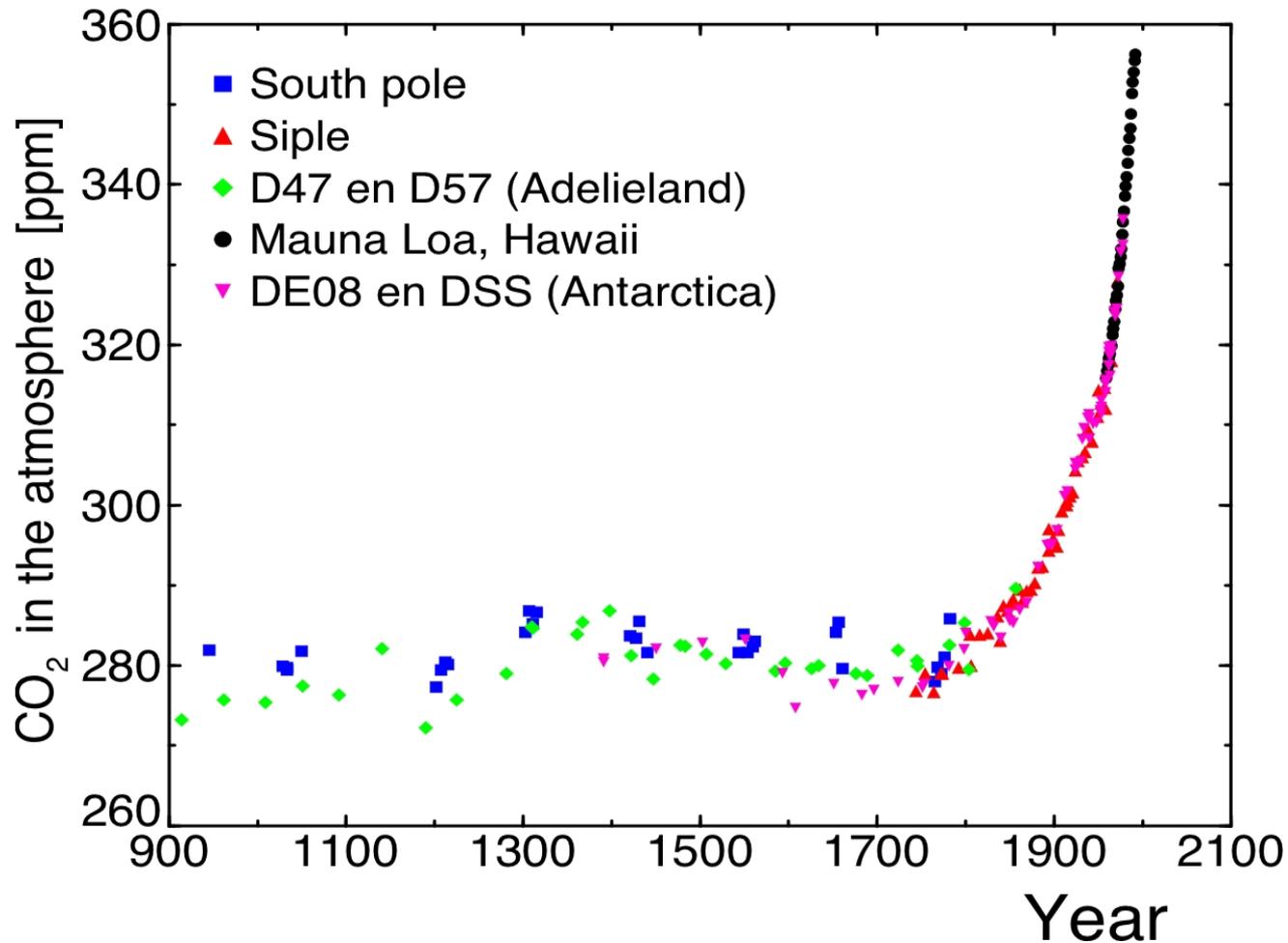


Figure 3.10. Linear trend of seasonal MAM, SON and DJF temperature for 1979 to 2005 ($^{\circ}\text{C}$ per decade). Areas in grey have insufficient data to produce reliable trends. The minimum number of years required to calculate a trend value is 18. A seasonal value is available if there are two valid monthly temperature anomaly values. The data used was produced by NCDC from Smith and Reynolds (2005). Trends significant at the 5% level are indicated by white + marks.

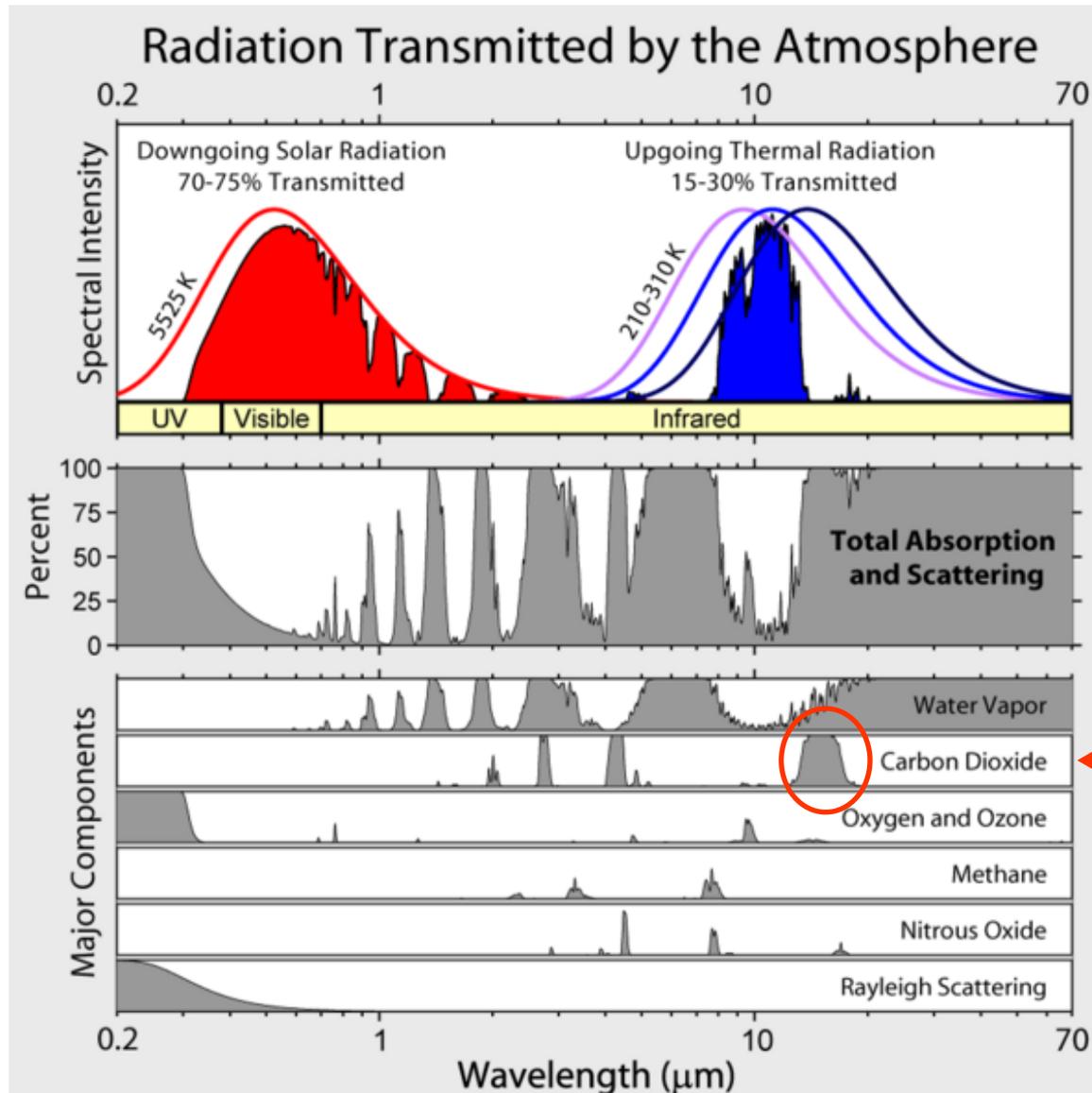
Cambios de Temperatura en Chile



Historia climática del Planeta: los últimos segundos / cambio climático antropogénico

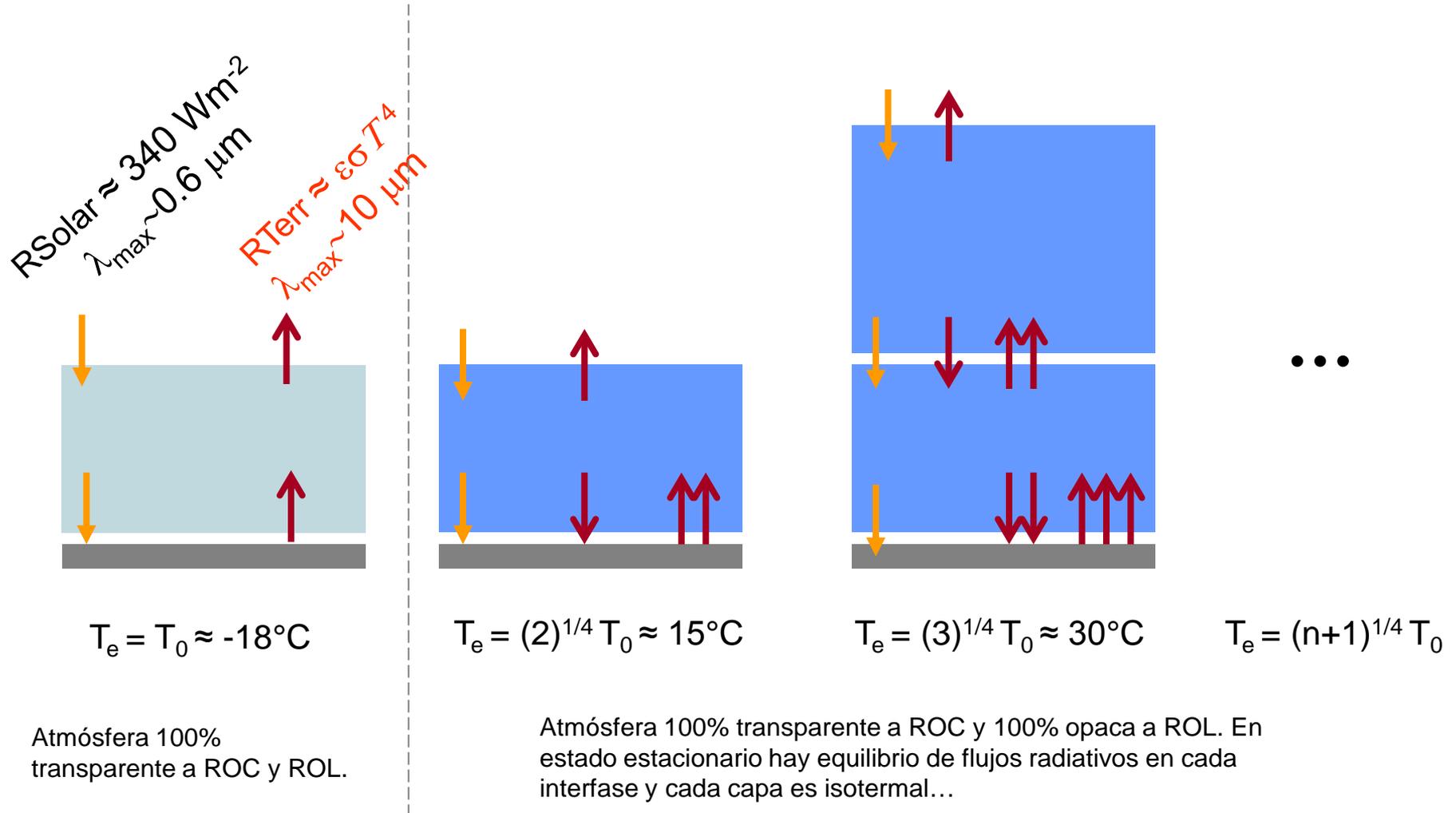


Importancia de CO₂ en sistema climático

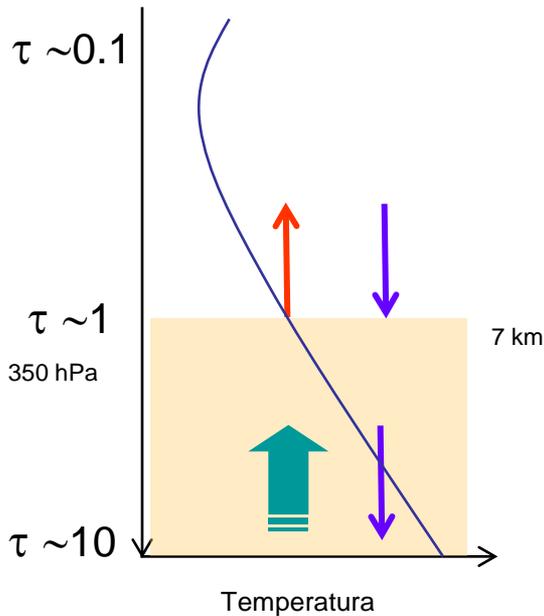


Importancia de CO₂ en sistema climático

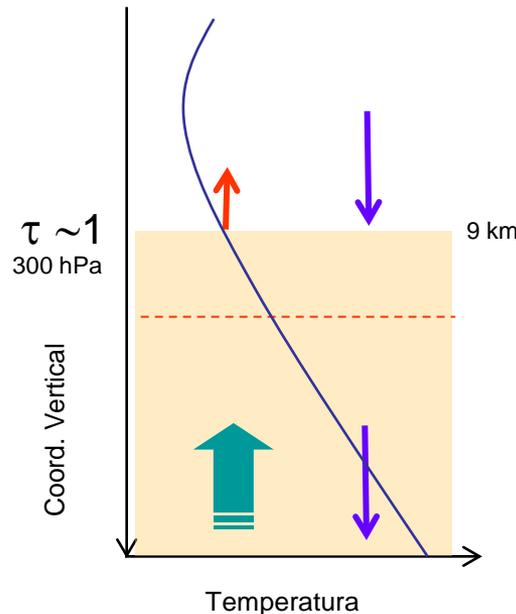
Un modelo simple de efecto invernadero



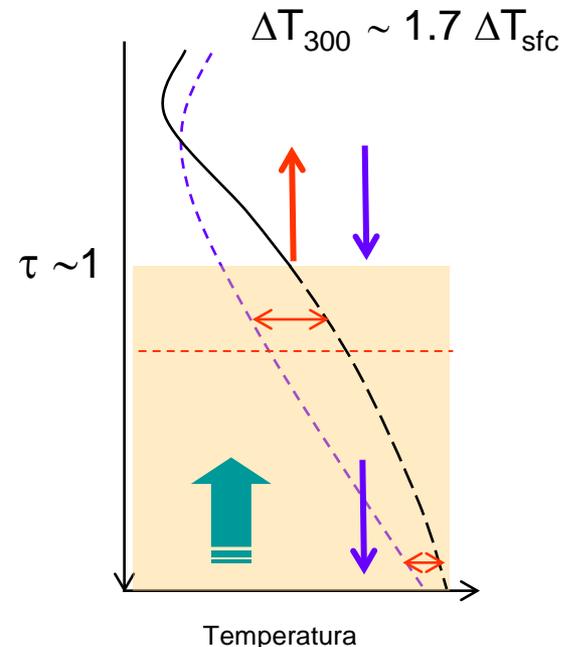
Efecto invernadero, versión 2 (Lindzen 1999, 2007)



CO₂: 280 ppm
Equil. actual



CO₂: 540 ppm
Transiente



CO₂: 540 ppm
Equil. Futuro
No feedback

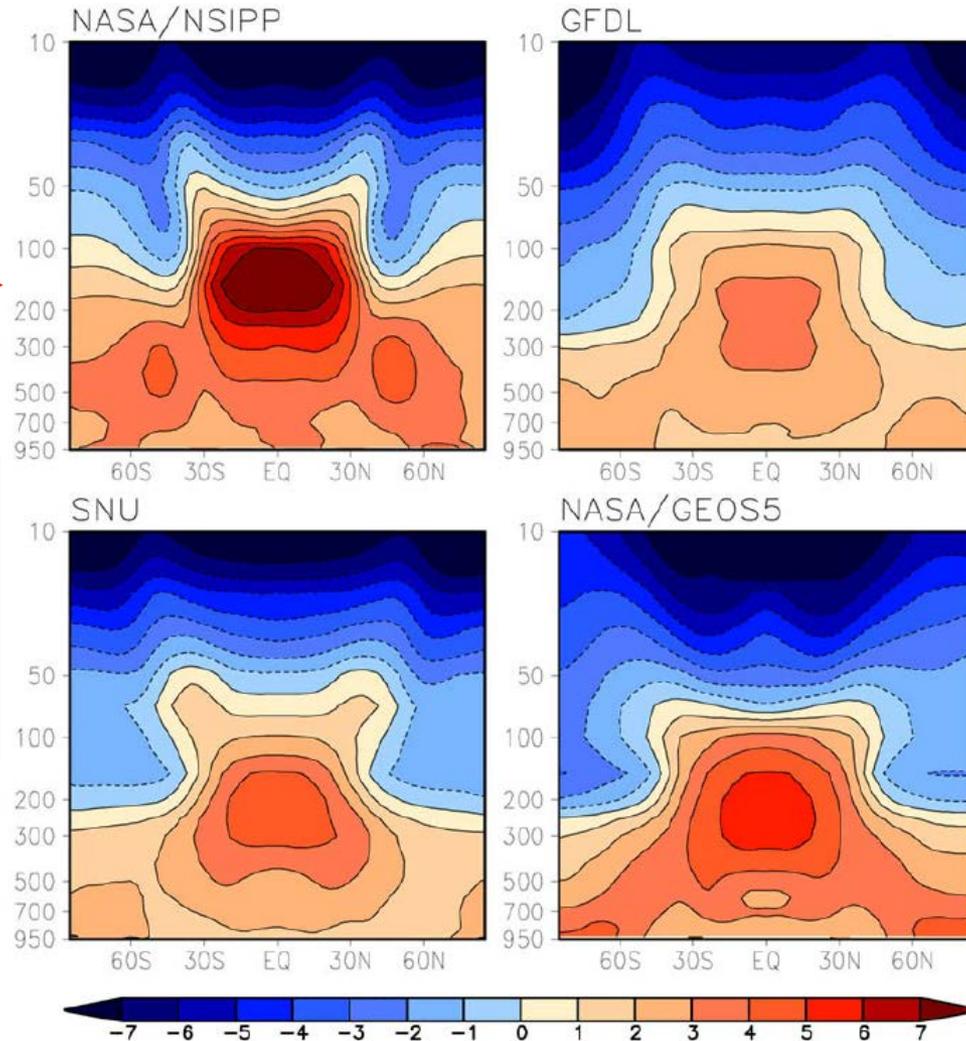


$$(L_{\lambda} - L^*) = (L_{\lambda 0} - L^*) \exp(-\tau_{\lambda})$$

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

Efecto invernadero, versión 2

Promedio zonal cambio temperatura 2*CO₂-CTR



Modelos y argumentos físicos simples predicen máximo calentamiento en troposfera alta

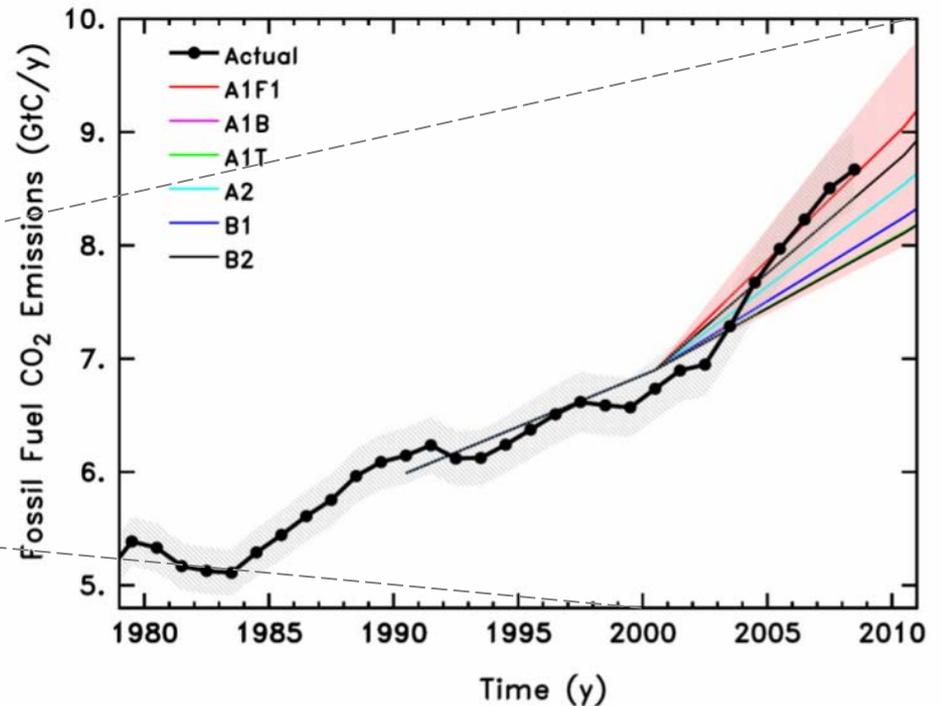
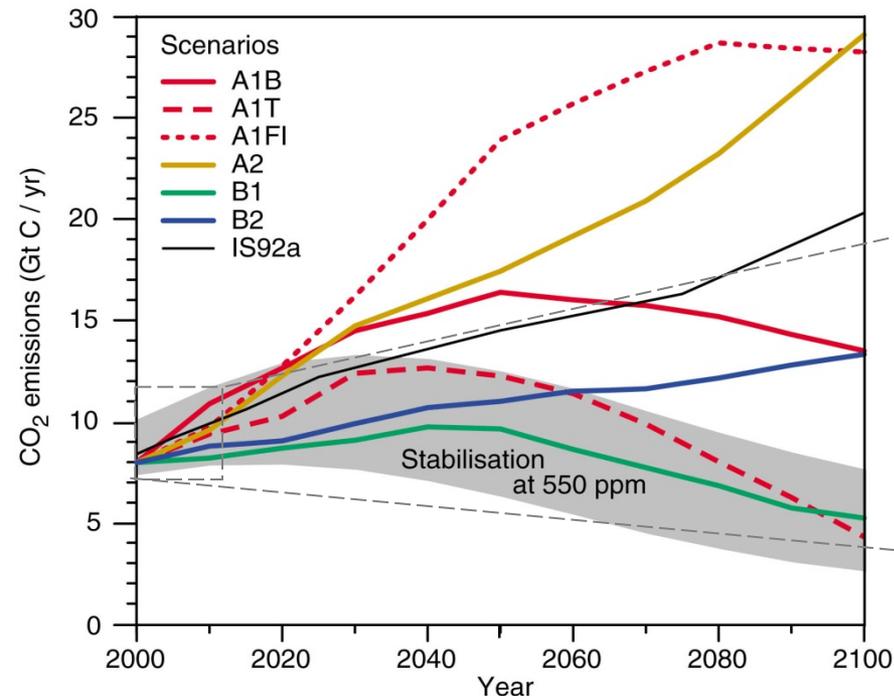
Zonal mean distributions of temperature change (2xCO₂-Control). Units are Kelvin.



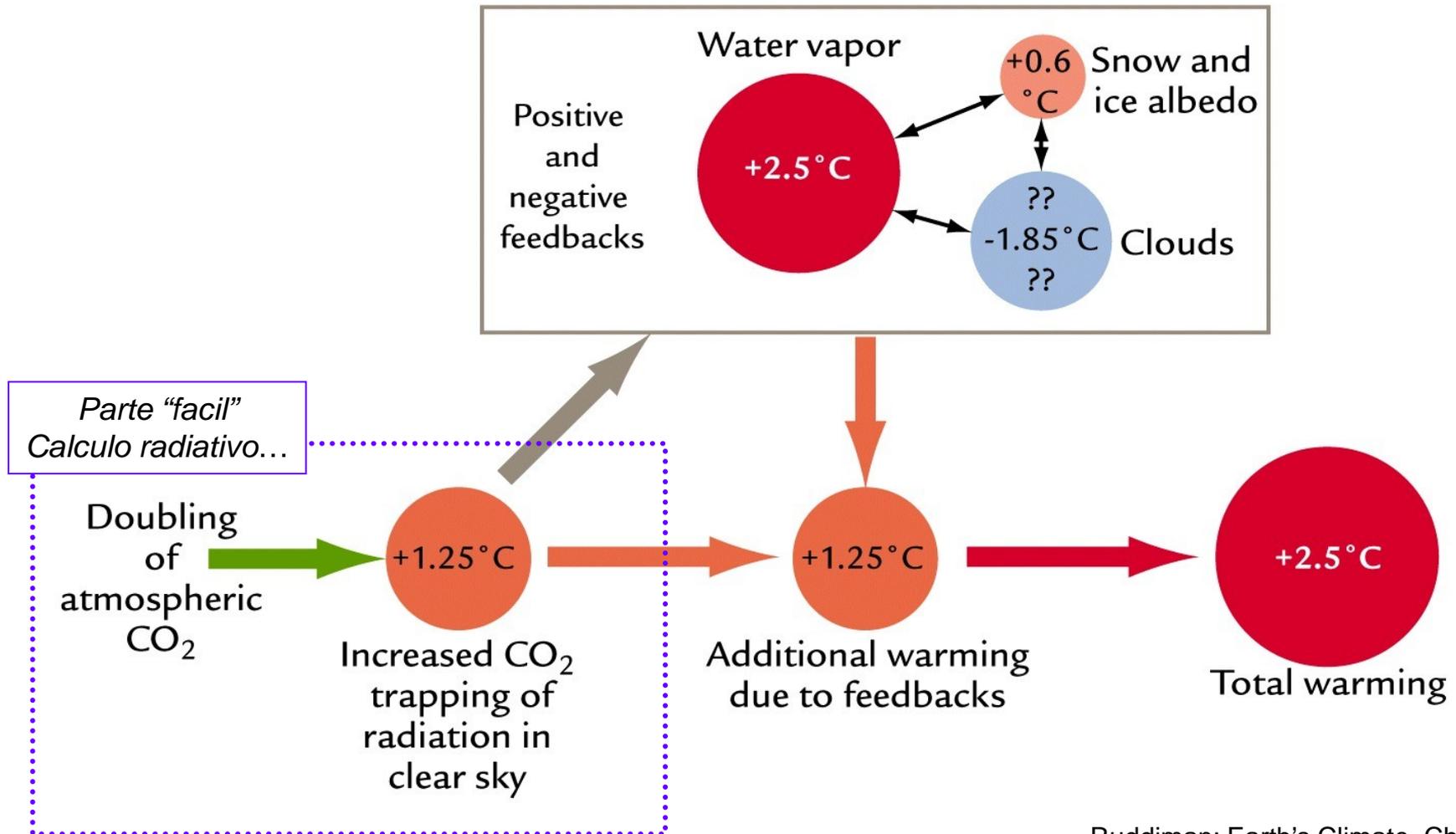
And
What
Next...

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

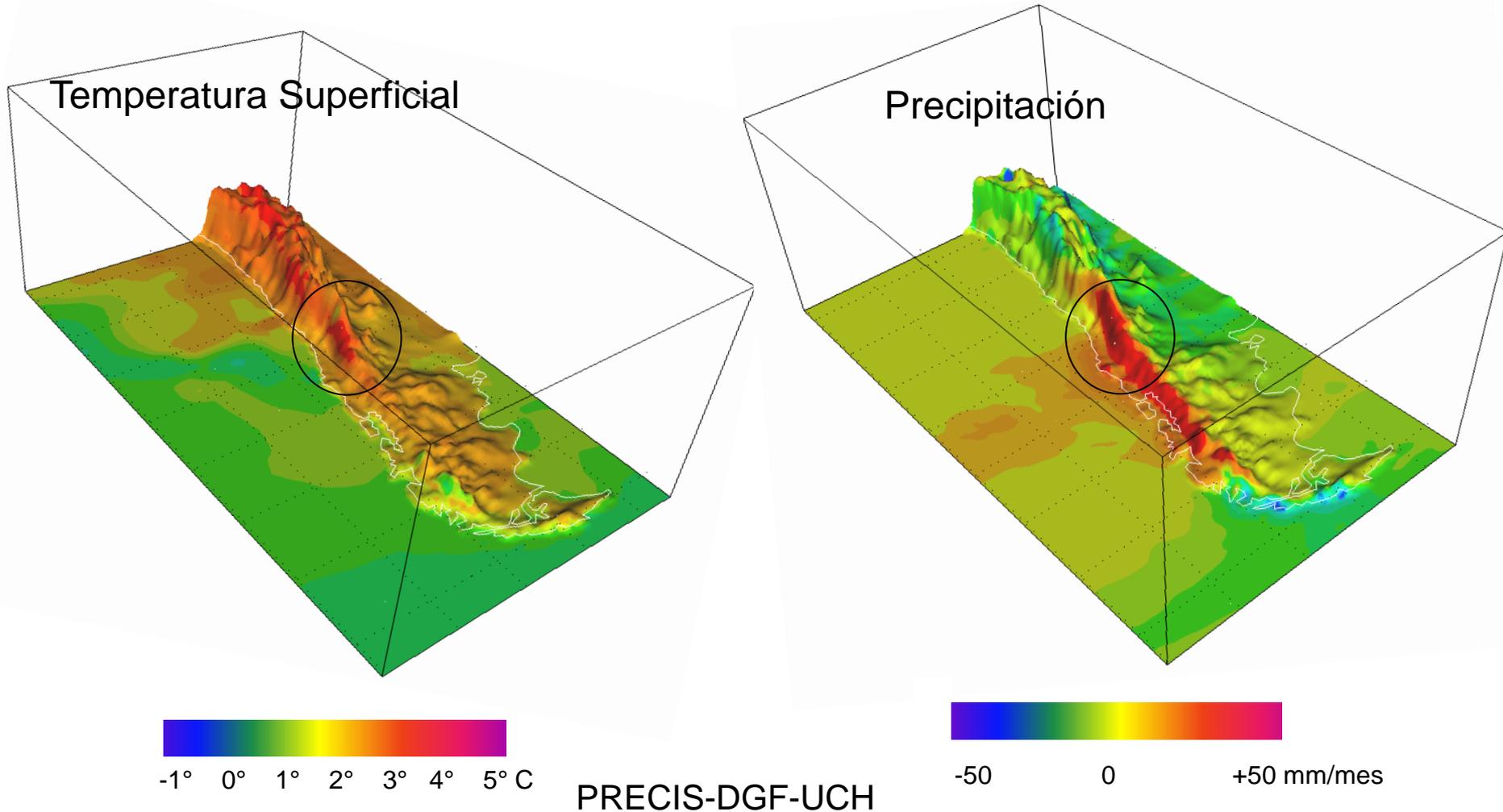
IEA global human CO₂ annual emissions from fossil fuels estimates vs. IPCC SRES scenario projections. The IPCC Scenarios are based on observed CO₂ emissions until 2000, at which point the projections take effect.



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

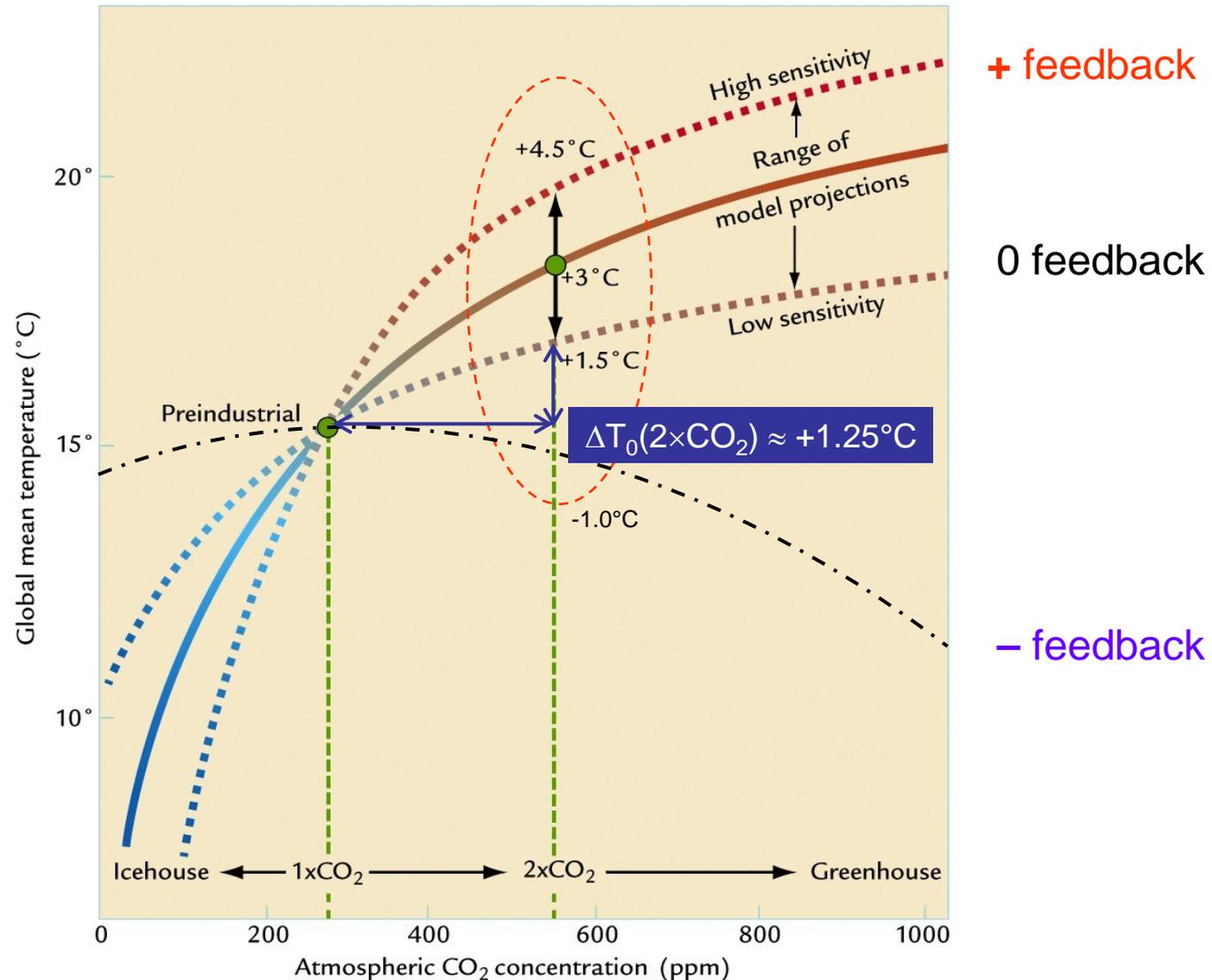


Diferencias A2(2100-2070) – BL(1960-1990)



Feedback (or enhancement) on dT due to dP may be important in Chile/Argentina

Sensibilidad climática se cuantifica con $\Delta T(2\times\text{CO}_2)$ y depende de la retroalimentación del sistema



Atmospheric circulation is governed by fluid dynamics equation + ideal gas thermodynamics

Momentum eqn.

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

Energy eqn.

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla\right)T - S_p \omega = Q_{RAD} + Q_{Conv} + Q_{Sfc}$$

Mass eqn.

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

Idea gas law

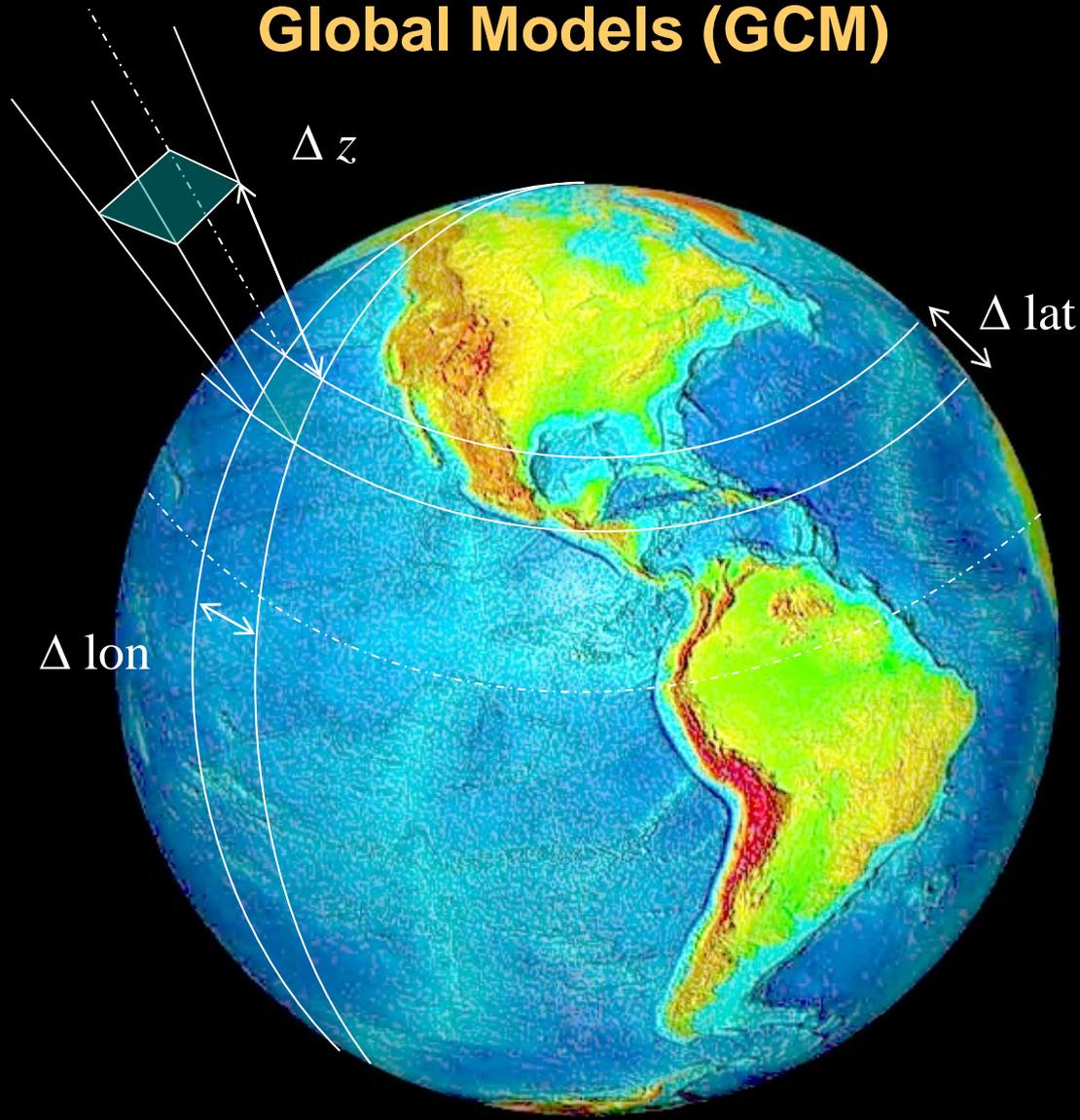
$$\frac{\partial(gz)}{\partial p} = -\frac{RT}{p}$$

Water substance eqns.

$$\frac{dq_v}{dt} = -C + E$$
$$\frac{dq_r}{dt} = +C - E + S_r$$

Sub-grid Processes
Highly parameterized

Global Models (GCM)



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

$\Delta z \sim 1 \text{ km}$

$\Delta t \sim \text{minutes-hours}$

Top of atmosphere: 15-50 km

Modelación de sistemas físicos: Situación ideal

- Formulación del modelo: ecuaciones, **variables**, **forzantes** y **parámetros**
- Determinación física de los parámetros
- Integrar modelo con forzante conocido
- Contrastar resultado del modelo con la realidad
- Aumentar complejidad del modelo

Ejemplo: Modelación Hidrológica

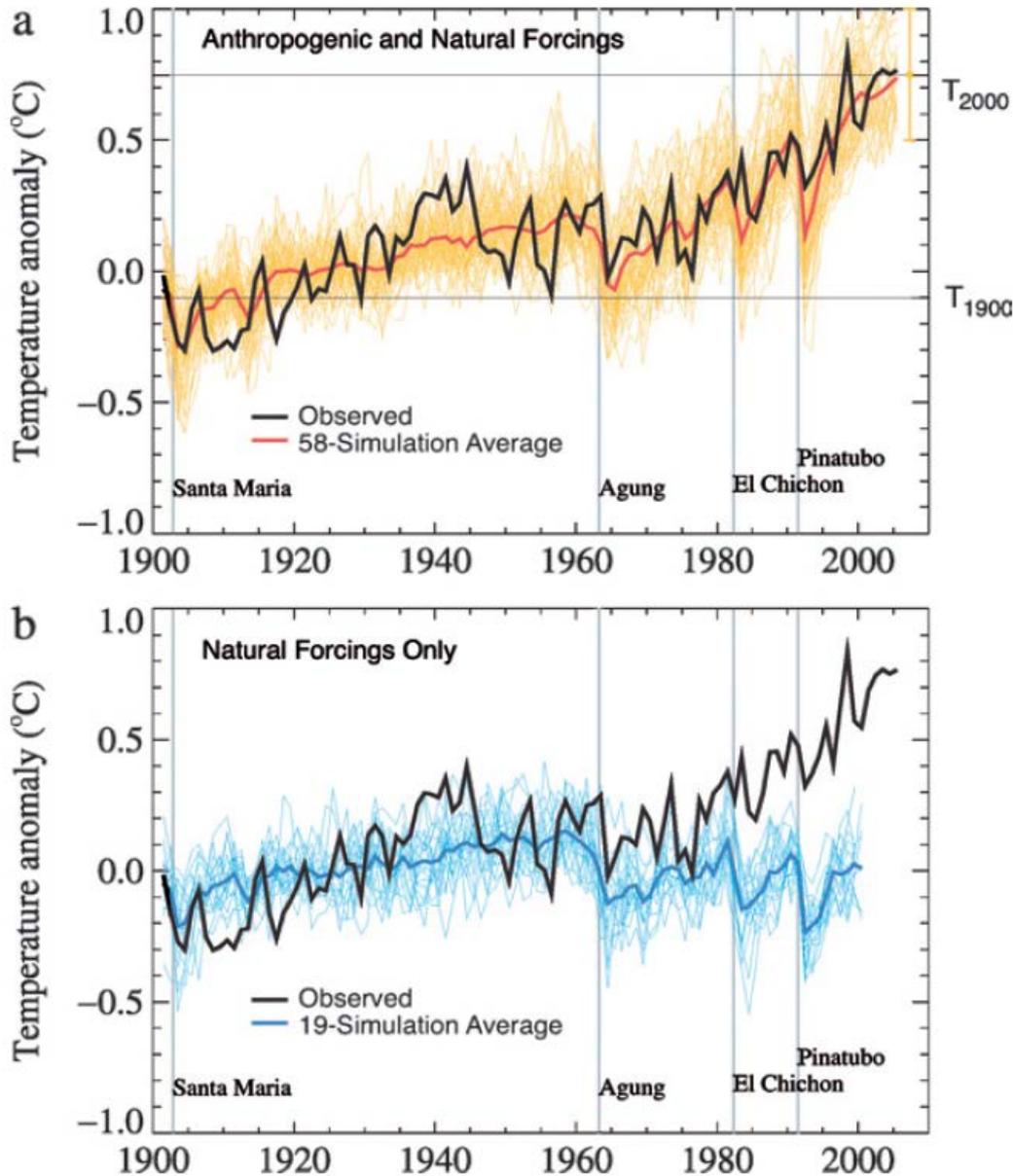
- $Q(t) = A * (1-\Lambda) * P(t) + Q(t-1)$
- **Área** de un mapa y Λ usando pruebas de infiltración
- Emplear Precipitación y Caudales observados
- Dividir periodo con observaciones: Calibración / Verificación
- $Q_{sim} \approx Q_{obs} \text{ ???}$
- $Q(t) = A * (1-\text{inf}) * P(t) + Q(t-1) - ET$

Modelación de sistemas físicos: GCMs

- GCMs: 10 ecuaciones, 20 variables, forzantes y 100 parámetros
- ~ 10 parámetros débilmente acotados
- Forzante GEI siglo XX conocido
- Forzante Aerosoles siglo XX menos conocido
- Contrastar modelo con realidad: Promedio global T_{sfc} siglo XX
- Modificar parámetros hasta obtener un buen ajuste...

No muy elegante, pero “es lo que hay”....

Cambios observados y simulados en T_{sf}c



Modelos logran ajuste a T_{sf} con bastante esfuerzo...forzamiento de aerosoles

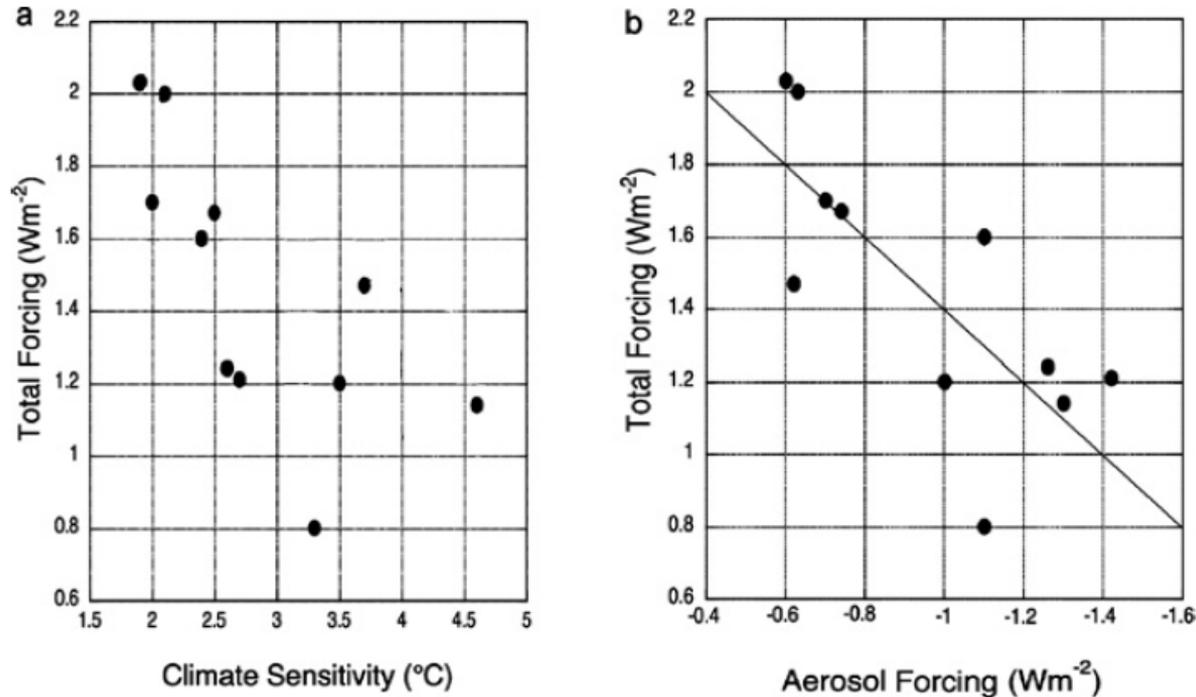


Fig. 9 (a) Total anthropogenic forcing *versus* equilibrium climate sensitivity $\Delta T_{2\times}$ from nine coupled climate models and two energy balance models that were used to simulate the climate of the 20th century. (b) Total anthropogenic forcing *versus* aerosol forcing; note reverse sense of the abscissa scale; slope of diagonal corresponds to $\Delta(\text{total forcing})/\Delta(\text{aerosol forcing})$ equal to unity. Modified from ref. 43.

Cambios observados y simulados en T(z)

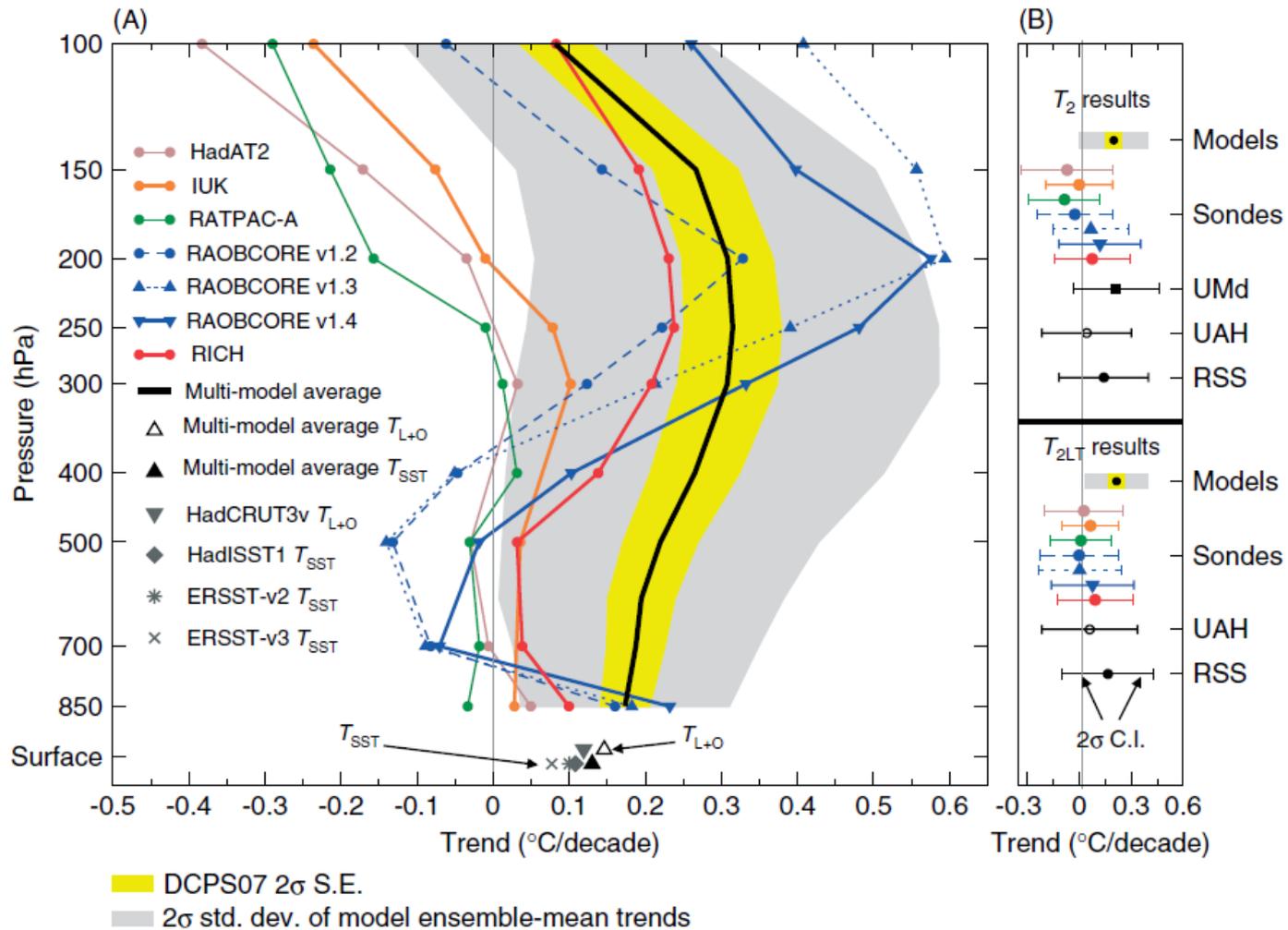
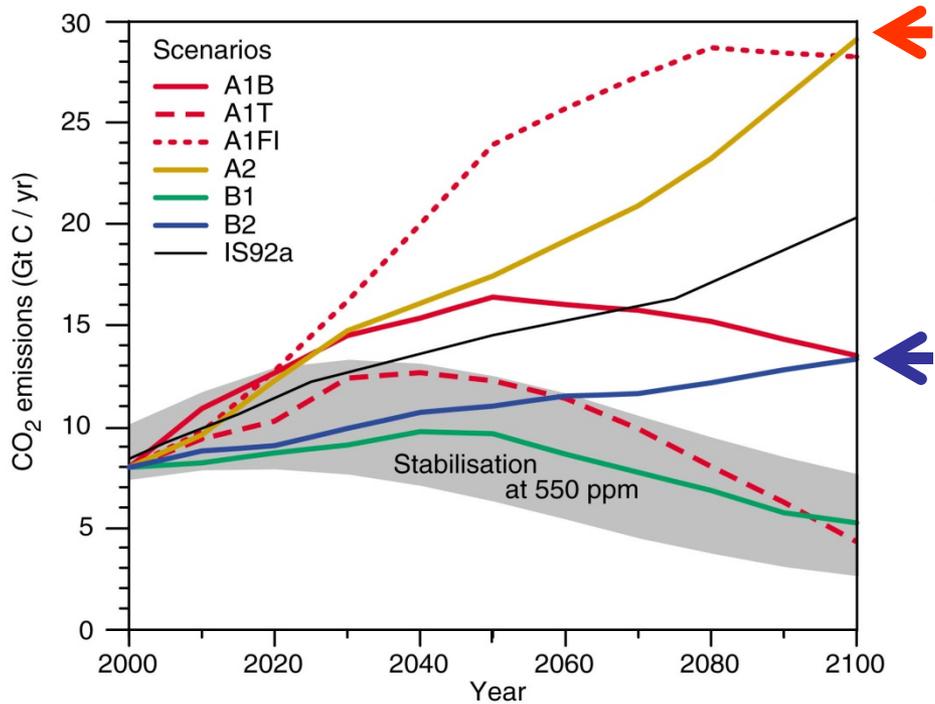
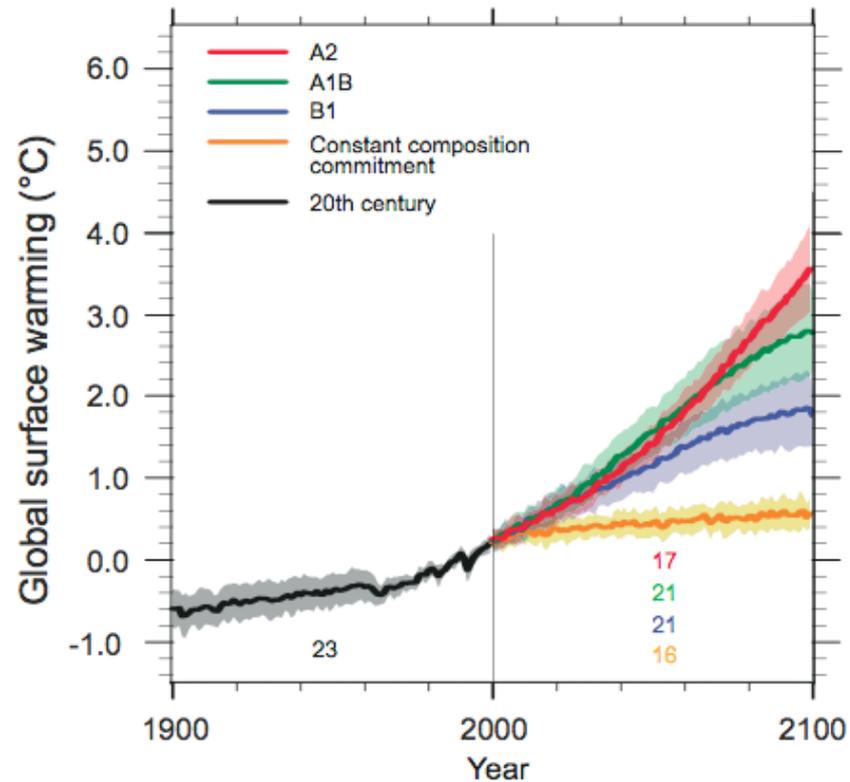


Figure 6. Vertical profiles of trends in atmospheric temperature (panel A) and in actual and synthetic MSU temperatures (panel B).

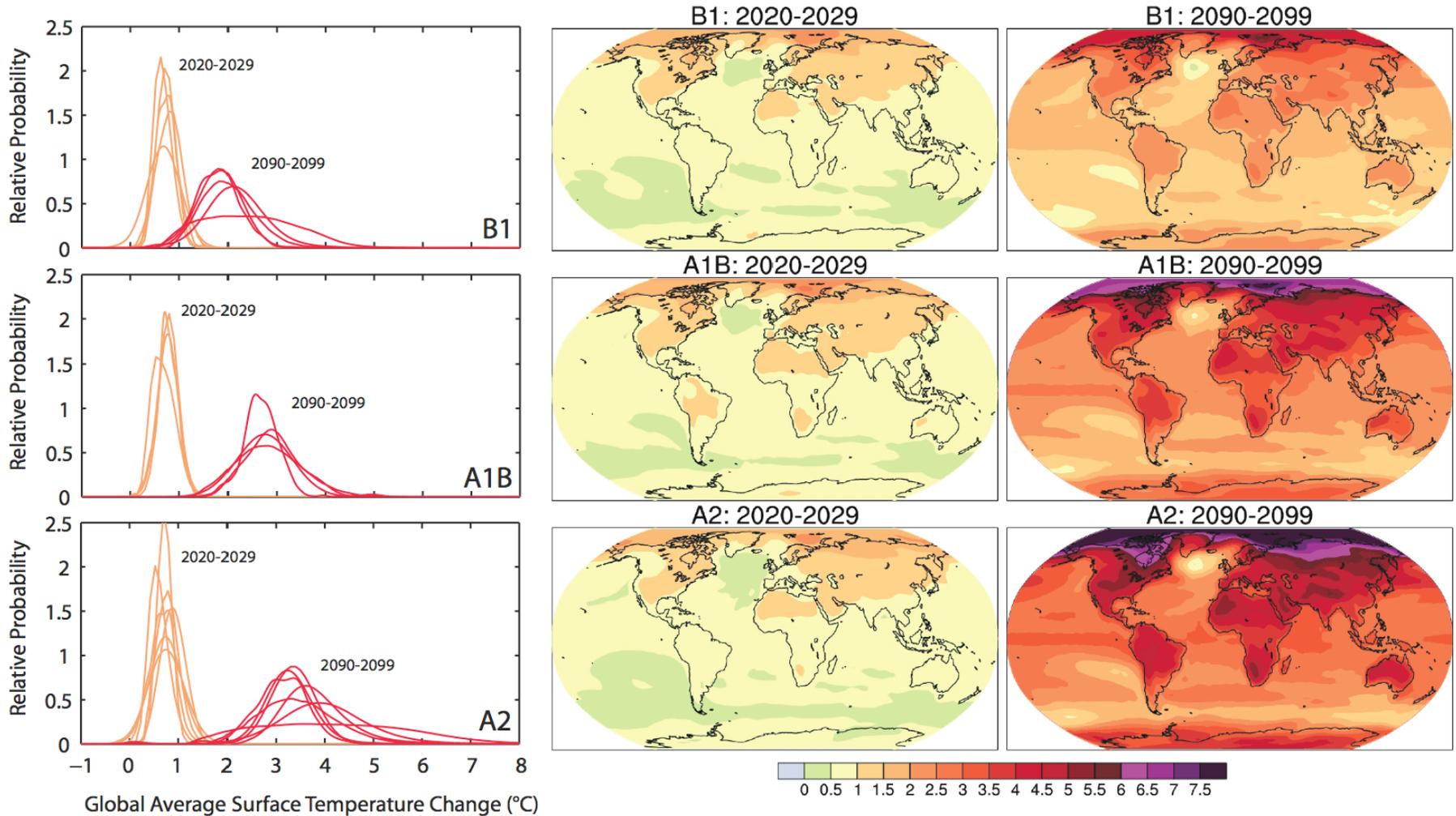


Escenarios Desarrollo Económico-Social

GCMs

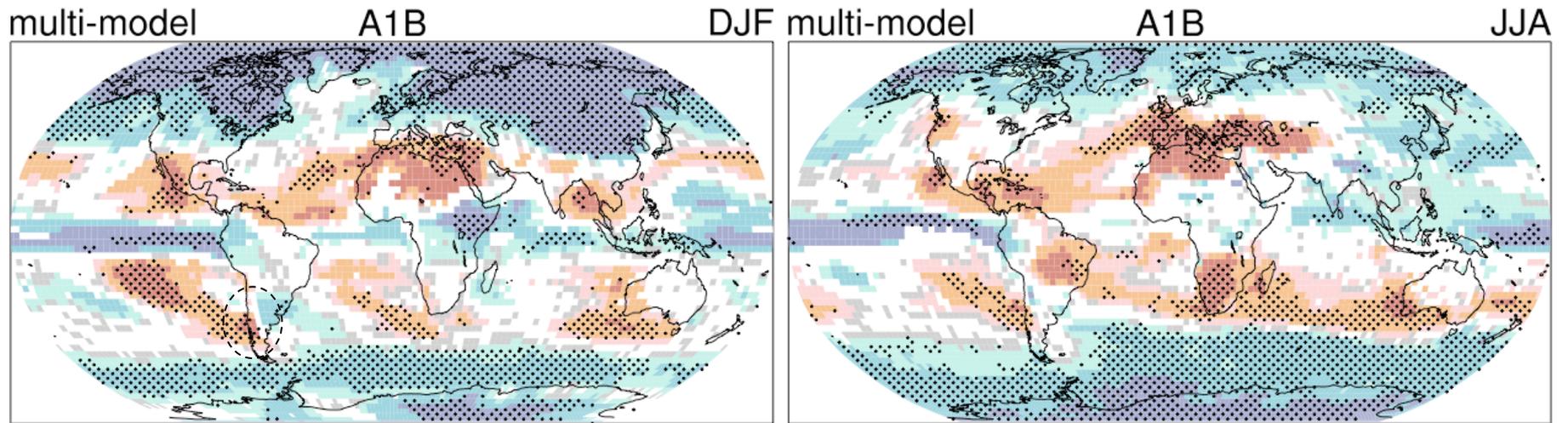


AOGCM Projections of Surface Temperatures



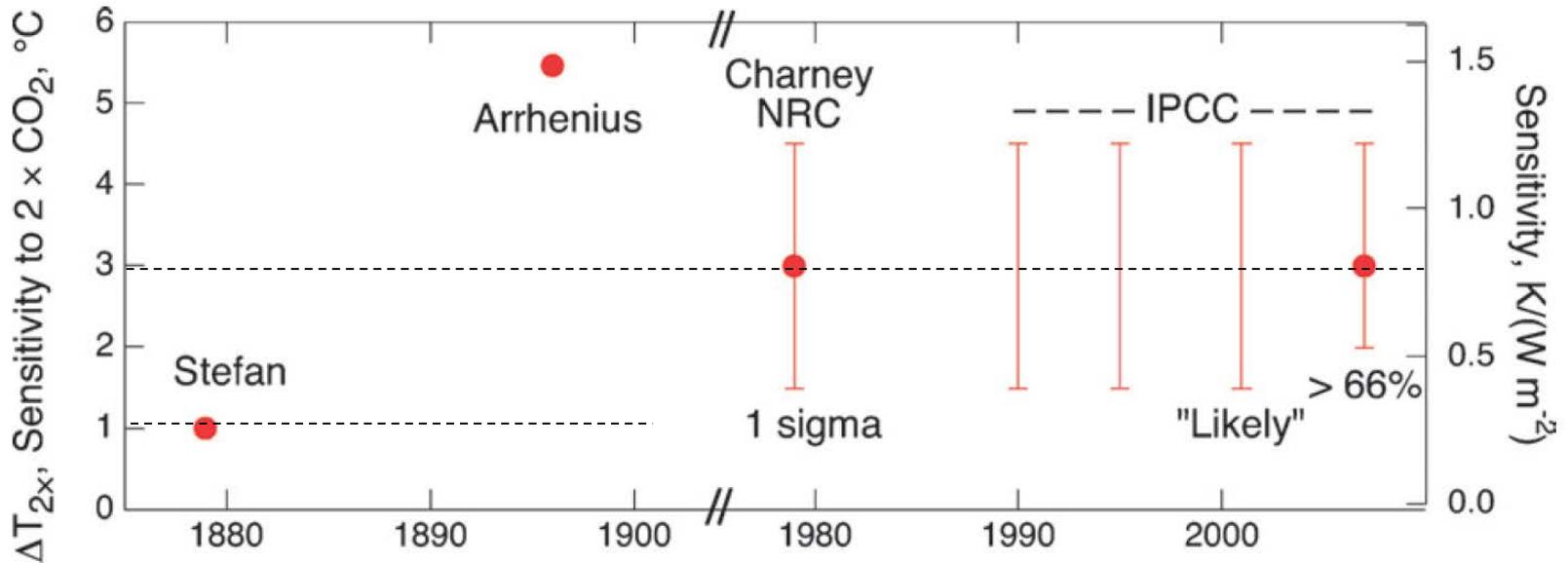
© IPCC 2007: WG1-AR4

Projected Patterns of Precipitation Changes



©IPCC 2007: WG1-AR4

Sensibilidad climática: $\Delta T(2\times\text{CO}_2)$ Fácil de calcular en los modelos GCMs



Sensibilidad climática ($2\times\text{CO}_2$) SIN retroalimentación $\sim 1.2^\circ\text{C}$

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

Condición de equilibrio de largo plazo

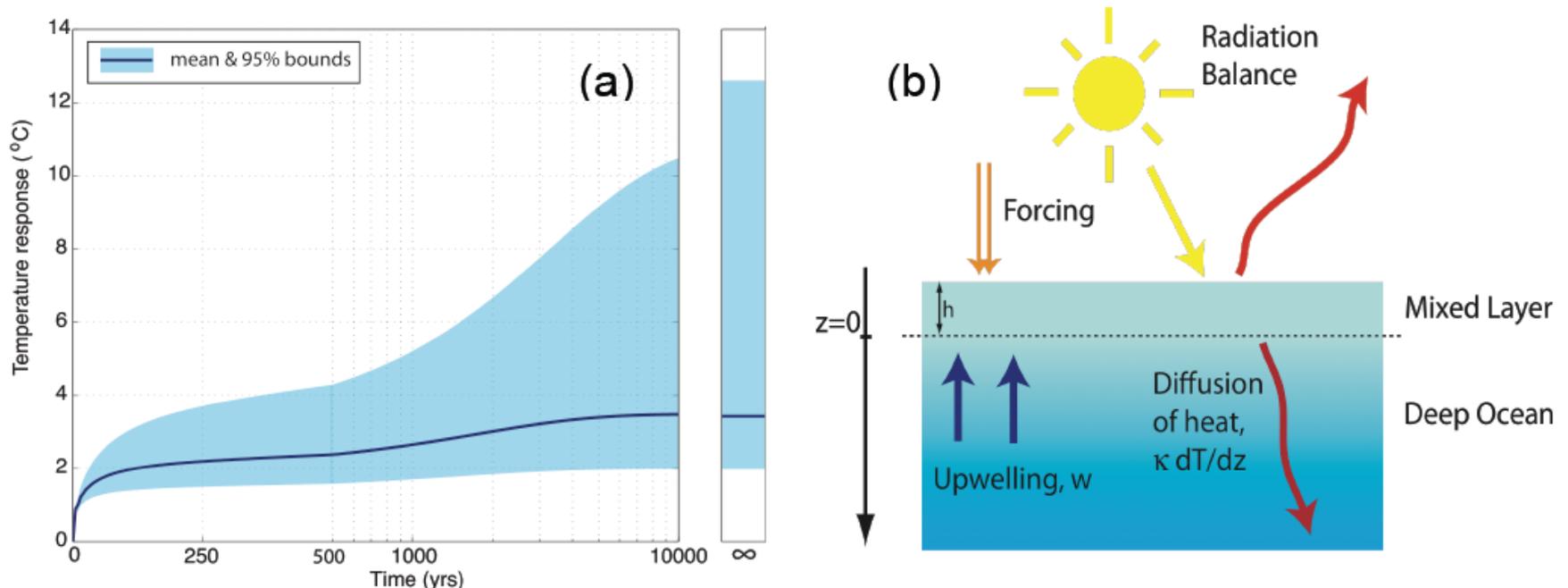
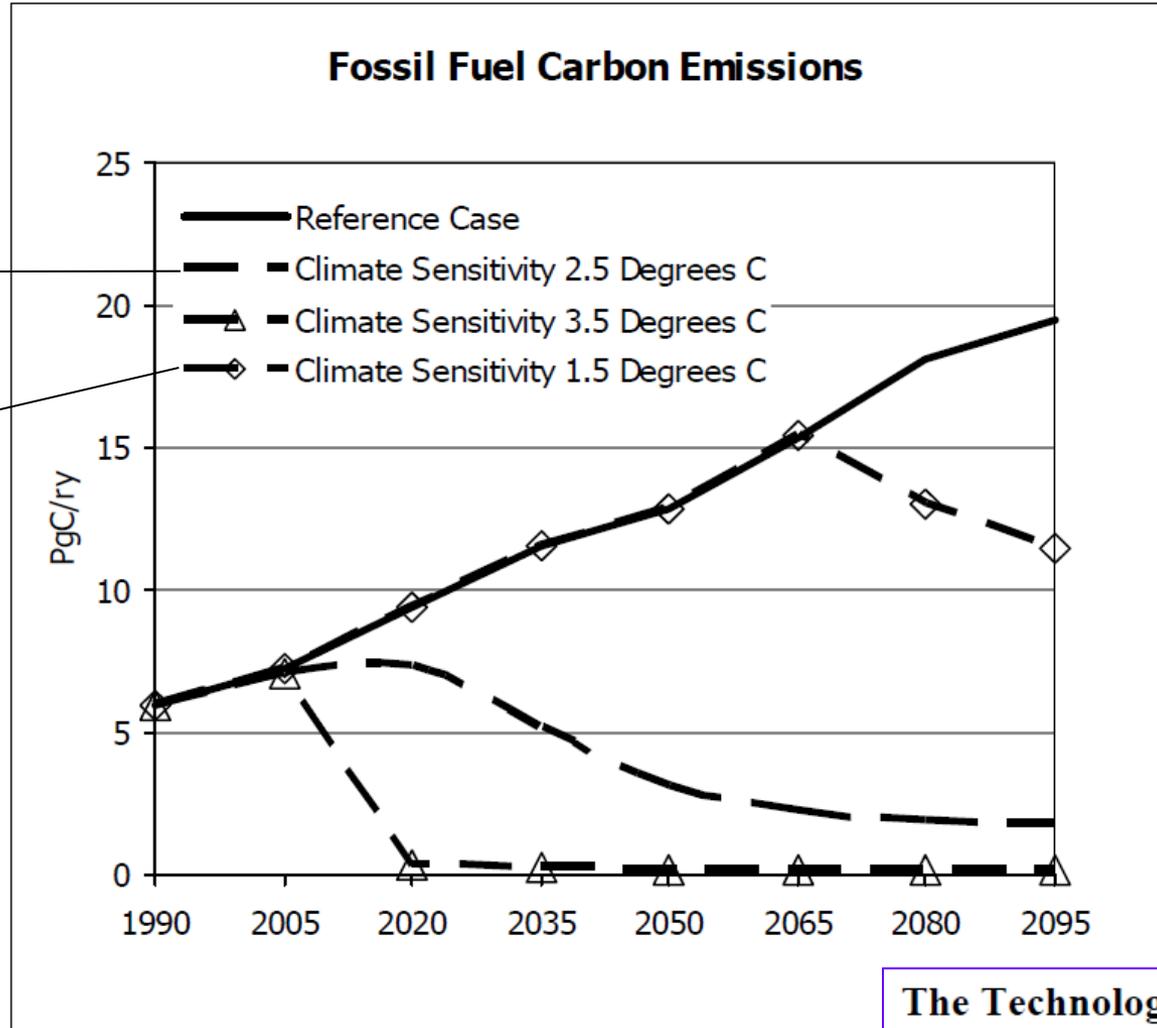


Figure 6: (a) The evolution of possible climate trajectories in response to an instantaneous doubling of CO_2 given the existing uncertainty in climate sensitivity. From Baker and Roe, 2009. Note the change to a logarithmic x-axis after 500 years. Low climate sensitivity is associated with rapid adjustment times (decades to a century). High climate sensitivity has extremely long adjustment times – thousand of years. This results from the fundamentally diffusive nature of the ocean heat uptake, illustrated schematically in panel (b). Such behavior is also reproduced in more complete physical models. See Held et al. (2010), for example.

¿Que debemos hacer para evitar los +2°C?

Alternative Climate Sensitivity Values



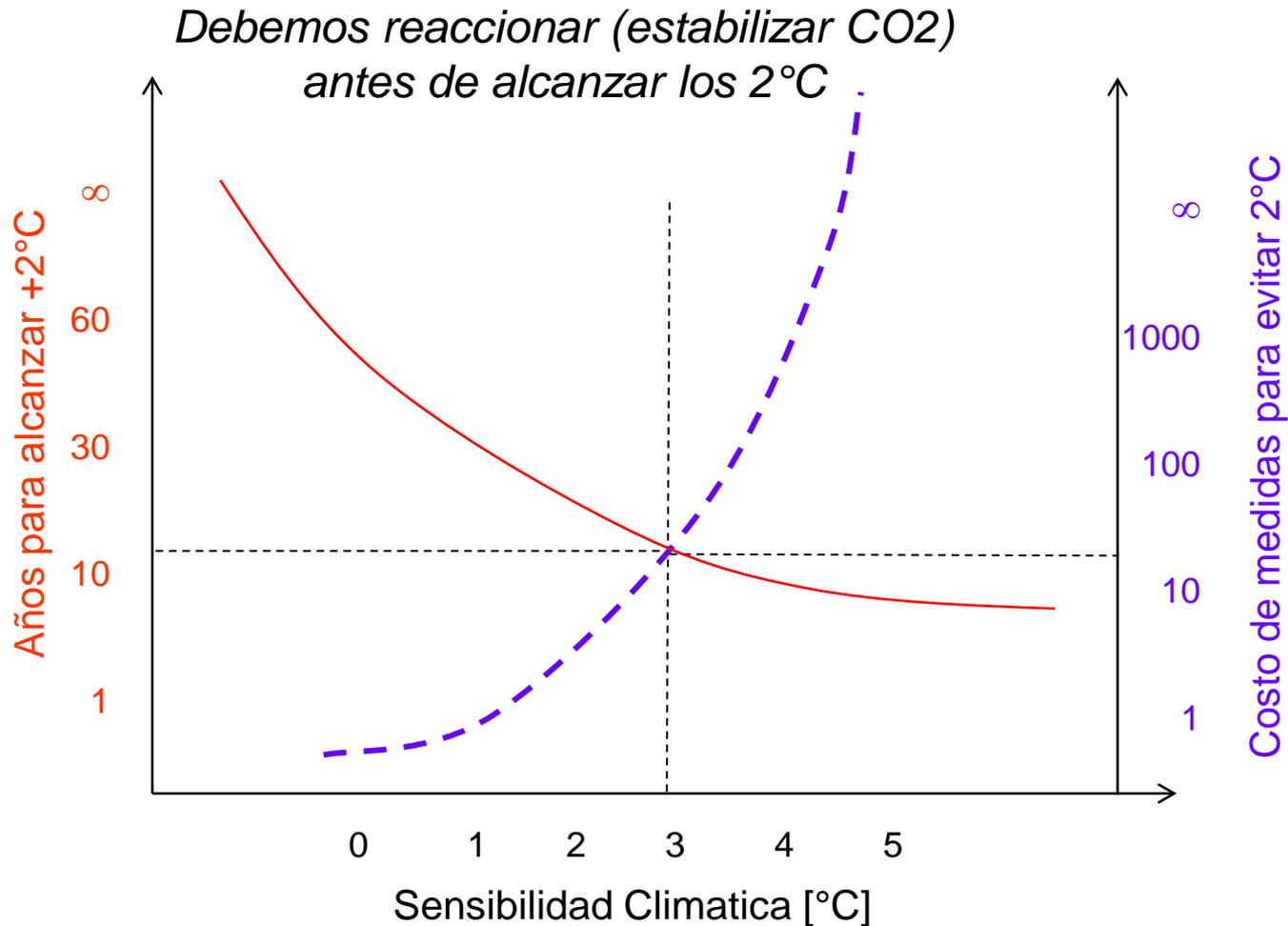
~10¹⁰ US\$

~0 US\$

The Technology of Two Degrees

Jae Edmonds and Steven J. Smith

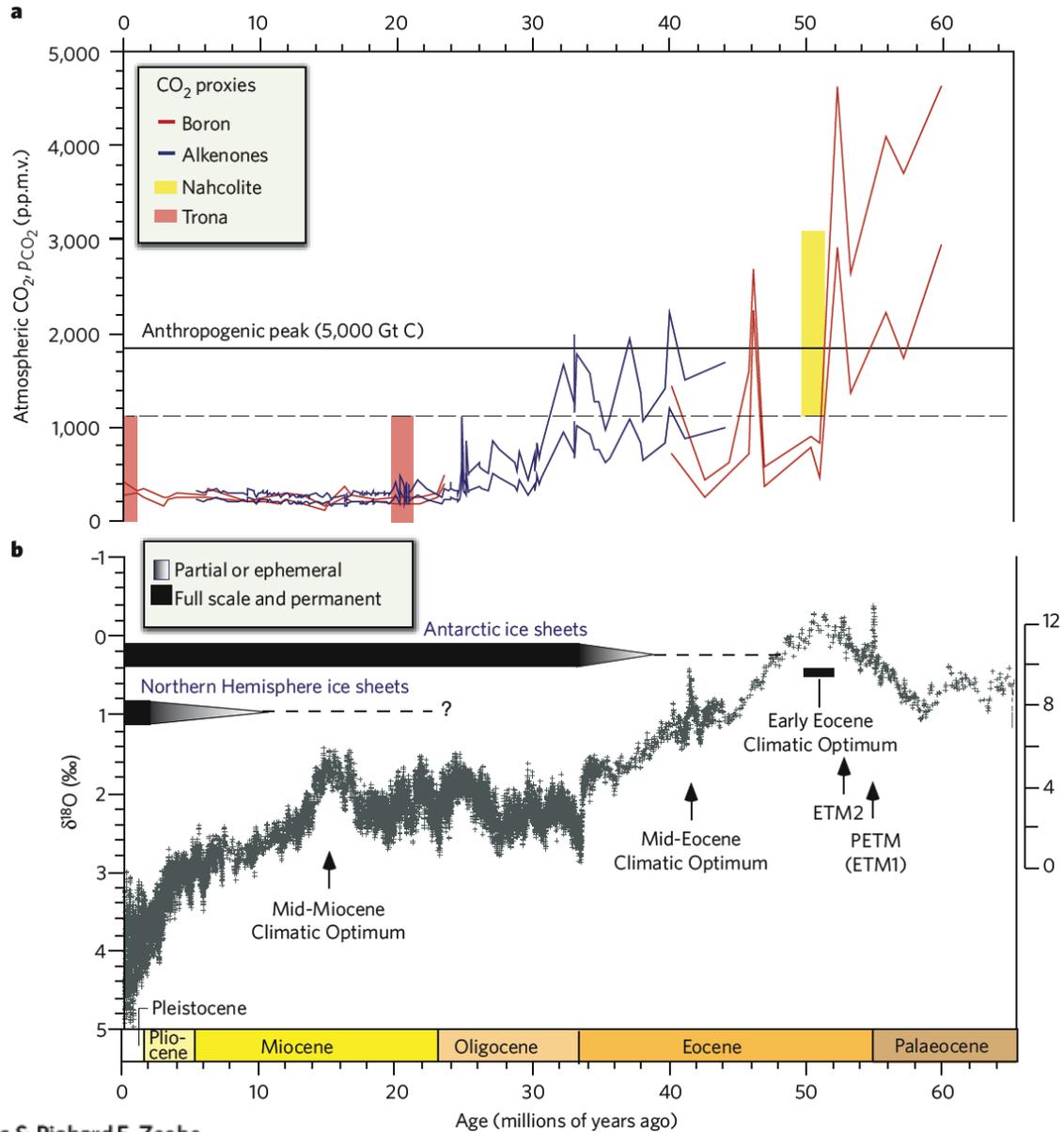
¿Que debemos hacer para evitar los +2°C?



The Technology of Two Degrees

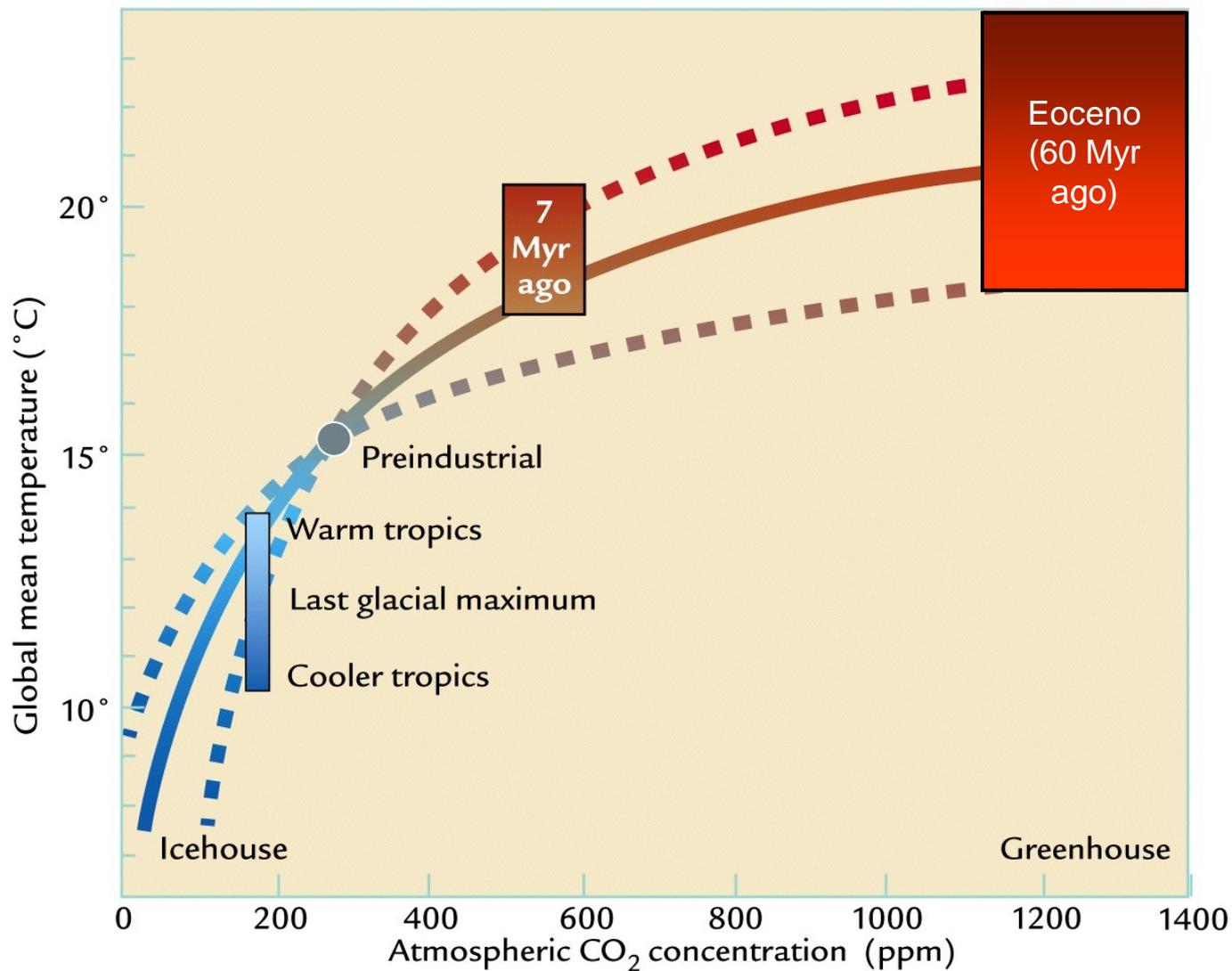
Jae Edmonds and Steven J. Smith

Paleosal rescate?

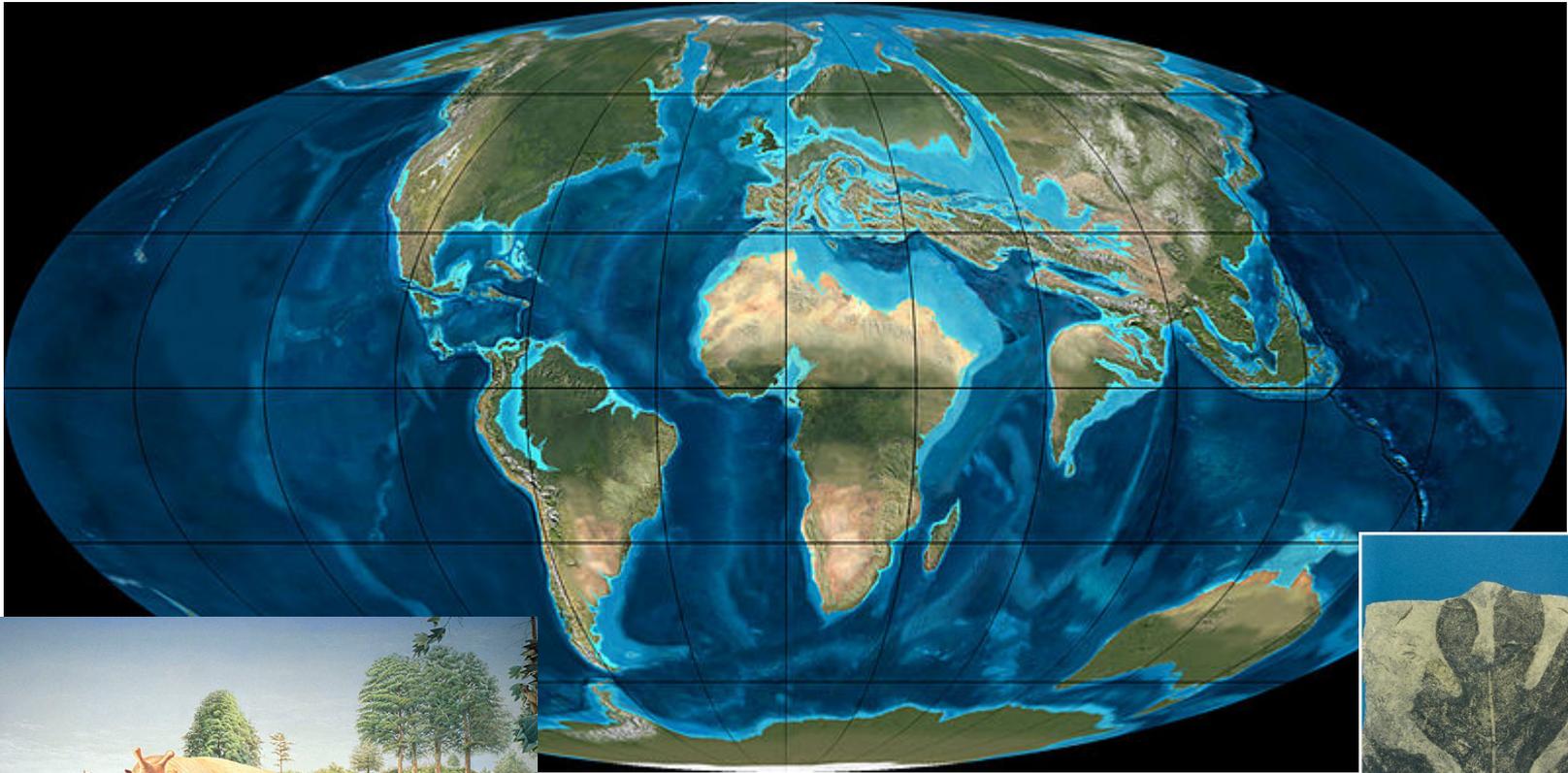


Sensibilidad climática

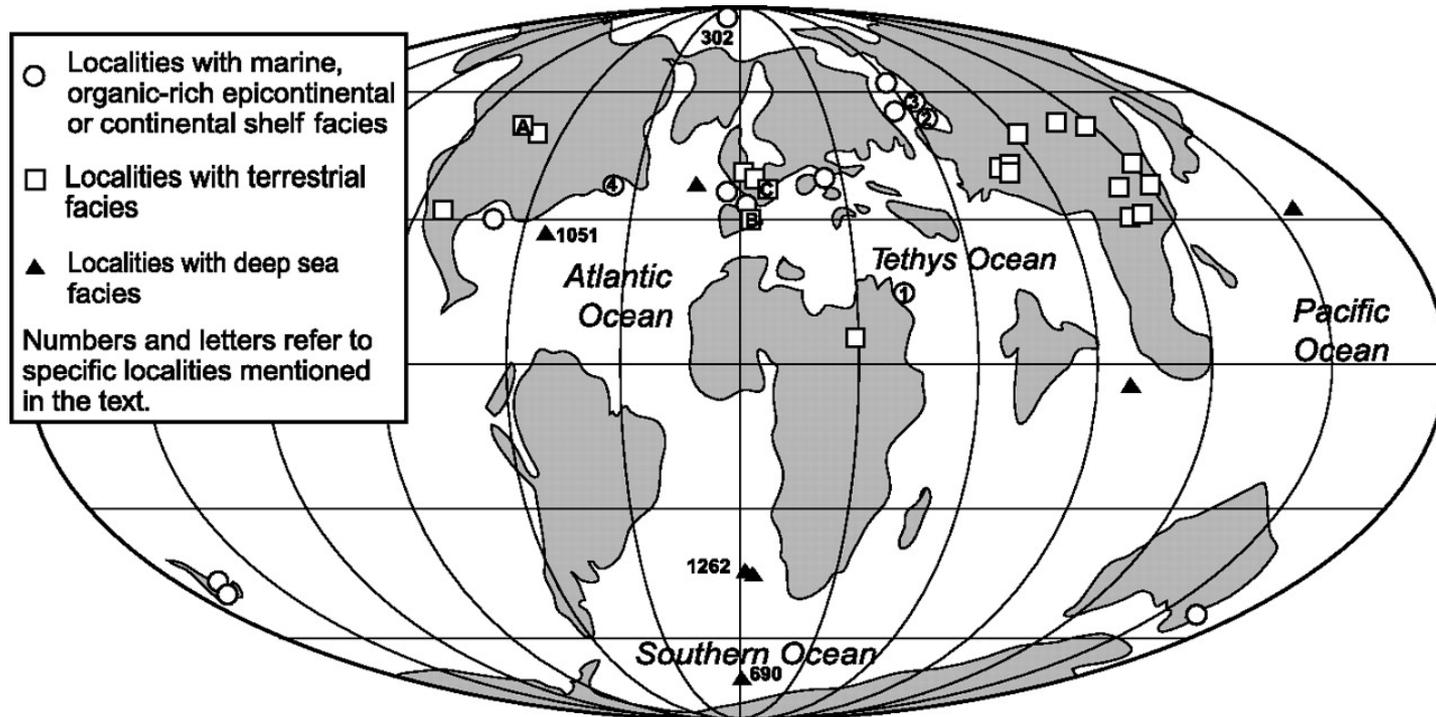
Difícil de estimar en registros Paleo



The long summer of the Eocene world (50-60 Myrs ago)

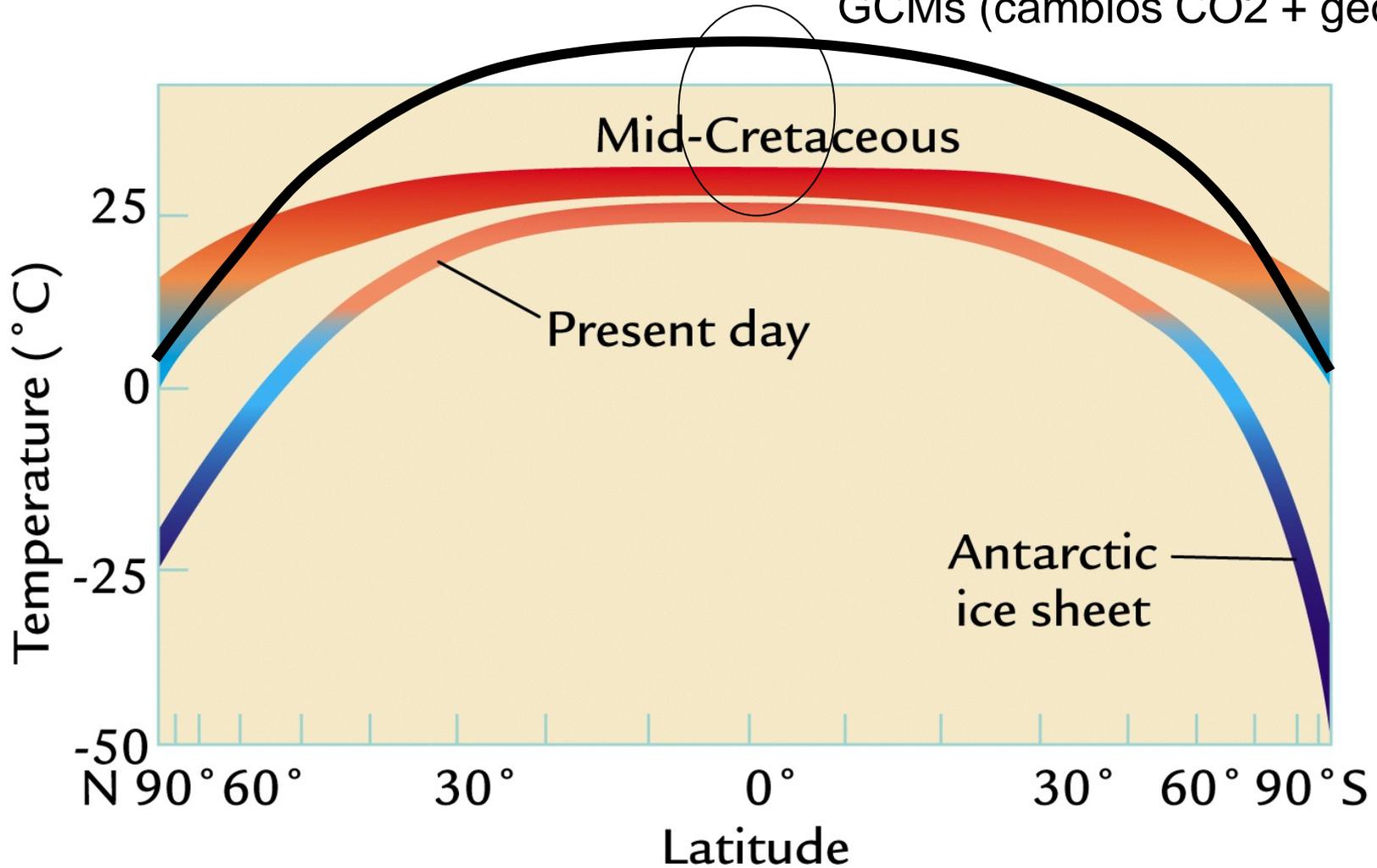


The long summer of the Eocene world (50-60 Myrs ago)



Modelos además presentan problemas en climas pasados
Termostato tropical? Múltiples equilibrios?

GCMs (cambios CO₂ + geografía)



La aparente existencia de un termostato tropical y su falta de representación en GCMs es un problema...

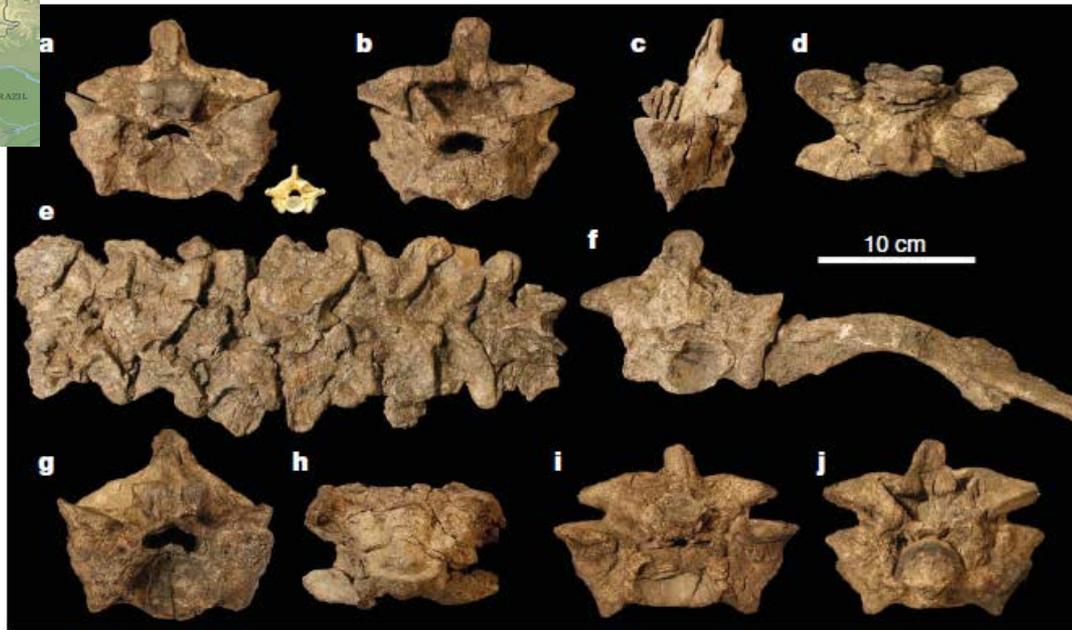


Figure 1 | *Titanoboa cerrejonensis* preloacal vertebrae. a, Type specimen (UF/IGM 1) in anterior view compared to scale with a preloacal vertebra from approximately 65% along the preloacal column of a 3.4 m *Boa constrictor*. Type specimen (UF/IGM 1) shown in posterior view (b), left lateral view (c) and dorsal view (d). Seven articulated preloacal vertebrae

(UF/IGM 3) in dorsal view (e). Articulated preloacal vertebra and rib (UF/IGM 4) in anterior view (f). Preloacal vertebra (paratype specimen UF/IGM 2) in anterior view (g) and ventral view (h). Preloacal vertebra (UF/IGM 5) in anterior view (i) and posterior view (j). All specimens are to scale.

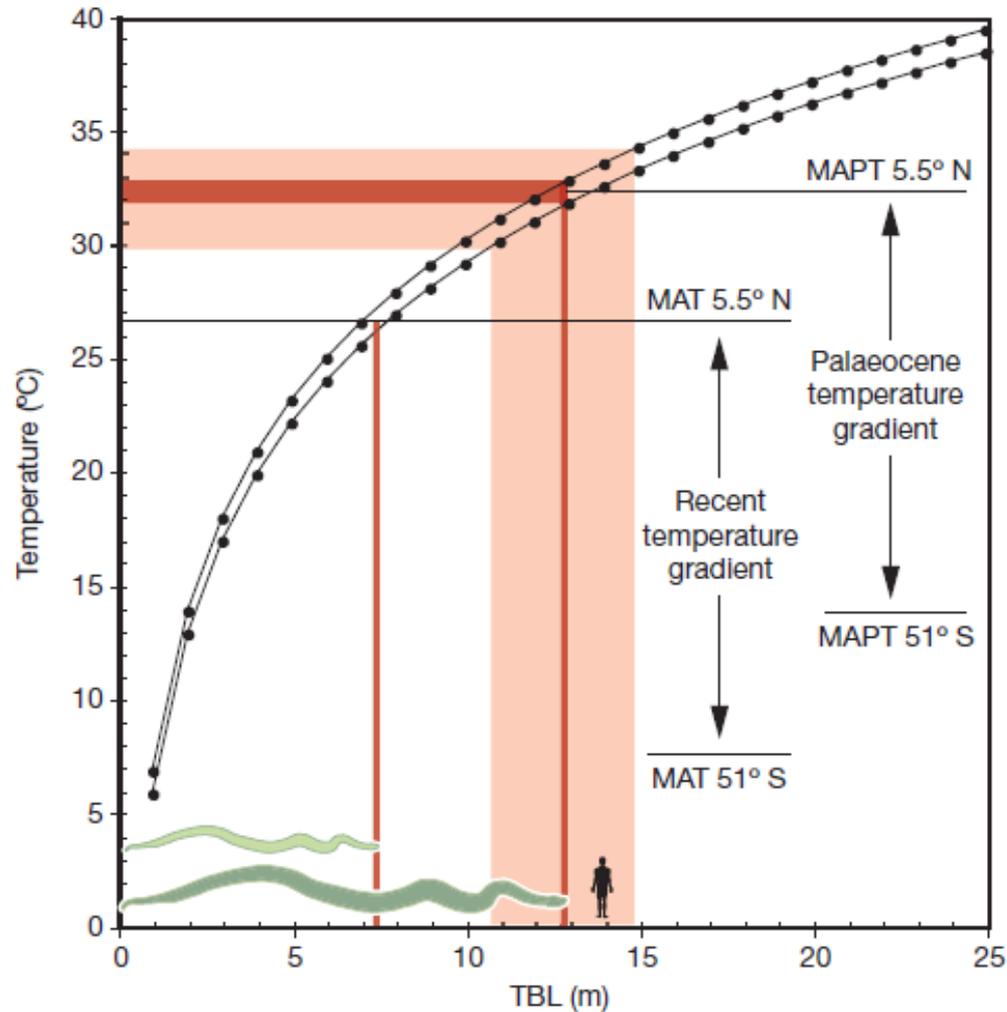
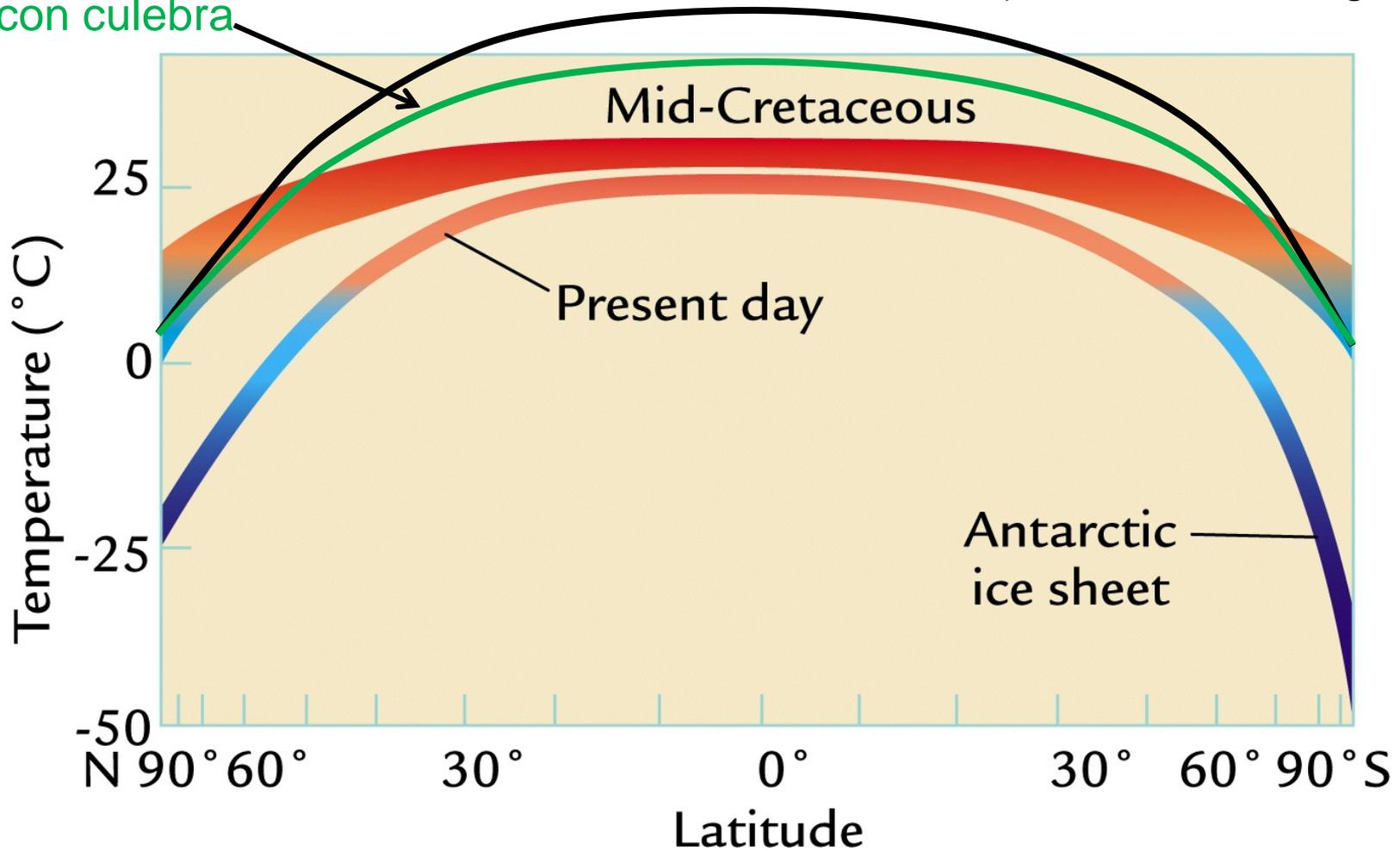


Figure 3 | Mean annual palaeotemperature and Palaeocene latitudinal temperature gradients derived from body size of the green anaconda *Euneptes murinus* (light green) and body size estimates of *Titanoboa correjonensis* (dark green). Curves represent model body size increases with

Reconstrucción incluyendo *Titanoboa* otorga más credibilidad a GCMs

Reconstrucción
con culebra

GCMs (cambios CO₂ + geografía)



Conclusiones

- La afirmación “el problema científico del cambio climático esta resuelto” es (afortunadamente) falsa: Comprensión del sistema climático incompleta, observaciones insuficientes, y modelos numéricos mejorables.

- Incertidumbre en respuesta del sistema climático a aumento del CO₂ (sesibilidad climática + forzamiento) es acotado y si permite evaluación de escenarios futuros.

- Muchas veces se emplea “worst-case-scenario” pero no siempre es explicito.

- Los GCMs / RCMs son la única herramienta para mirar al futuro

- Reconocer otras fuentes de variabilidad climática

- Para avanzar en ciencia hay que simplificar, pero no sobre-simplificar

- Una buena culebra siempre ayuda

Material de apoyo

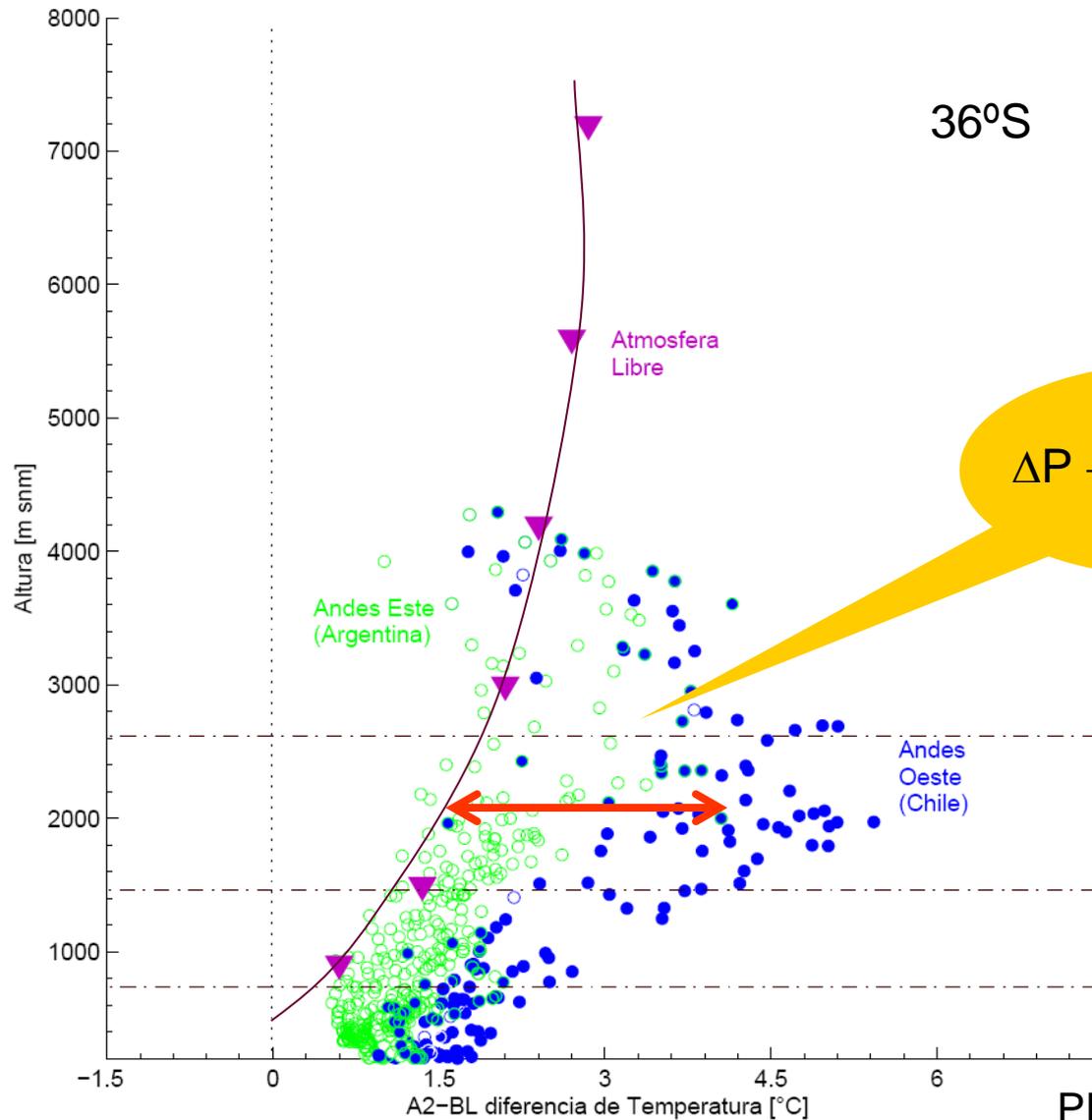
Conclusiones

- No hay duda del incremento del CO₂. Calentamiento de la troposfera media es relativamente modesto. Calentamiento superficial es mas fuerte, debido a superposición de variabilidad natural y/o retro-alimentaciones

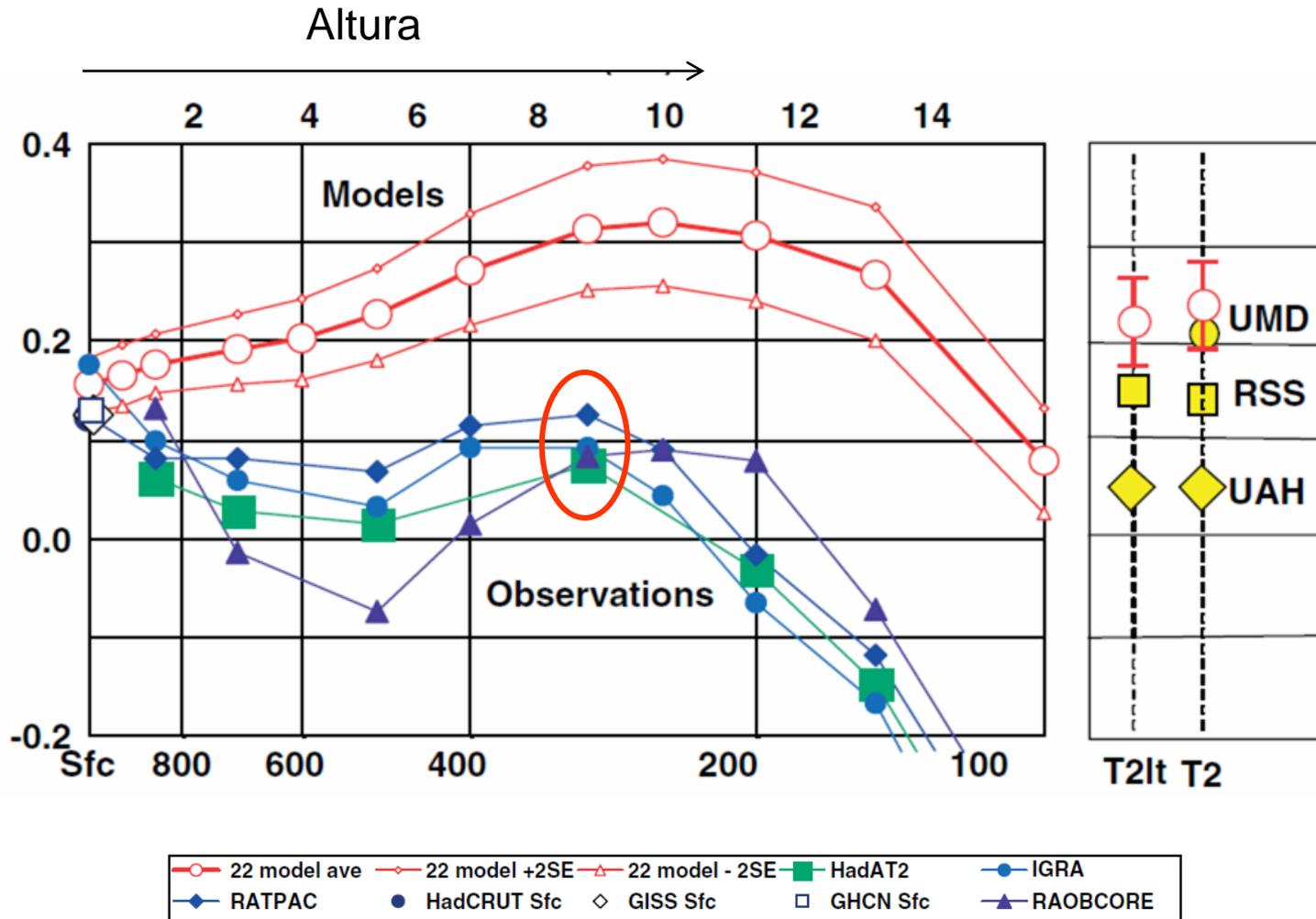
- Incremento del CO₂ durante siglo XXI provocará un aumento en la Temp. media y cambios en los regimenes de viento/precipitación.
- Cuanto y cuando son las preguntas correctas.
- Los GCMs / RCMs son la unica herramienta para mirar al futuro
- Es bueno mantener un ojo critico en los modelos y continuar su mejoramiento...problema lejos de estar resuelto.
- Incertidumbre en modelos tiene tremendas consecuencias en la toma de decisiones para la mitigación y adaptación al CCA

- Para avanzar en ciencia hay que simplificar, pero no sobre-simplificar
- Una buena culebra siempre ayuda

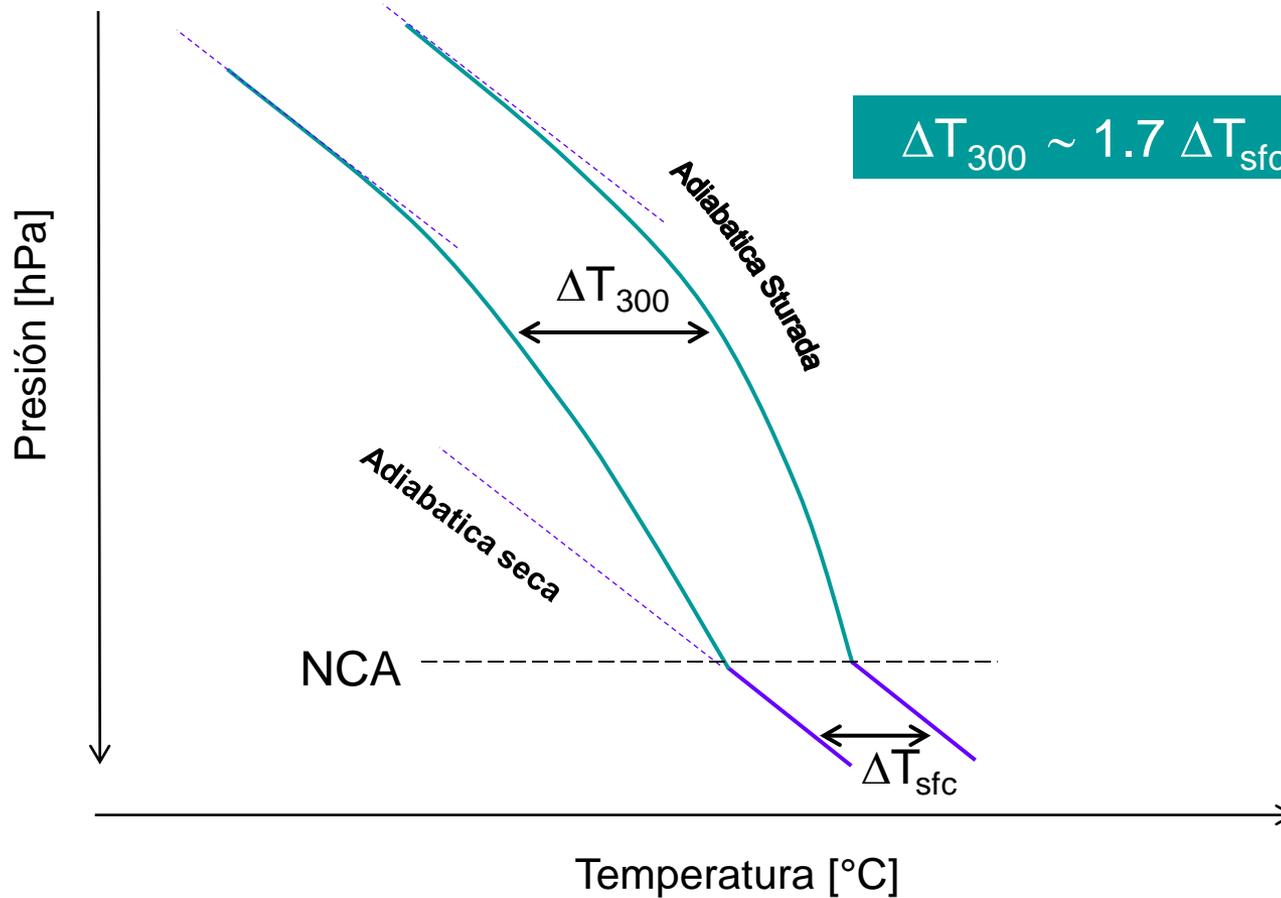
ΔT (A2-BL) versus Height



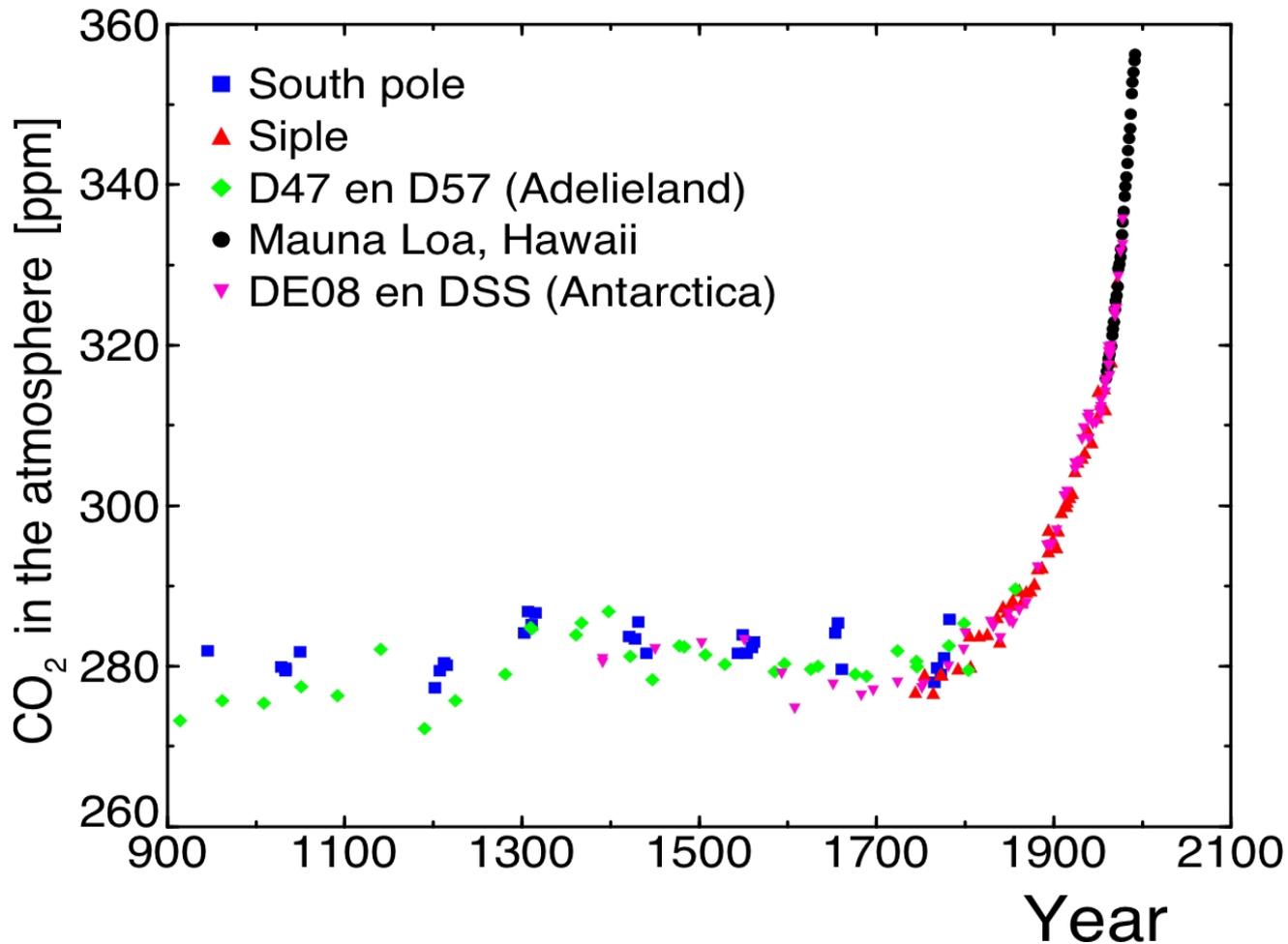
Cambios observados y simulados en $T(z)$



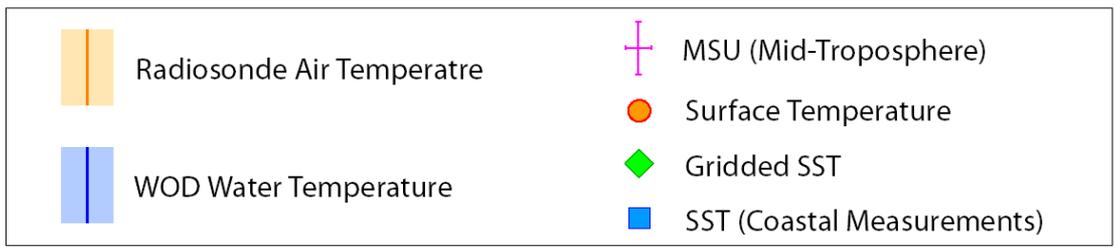
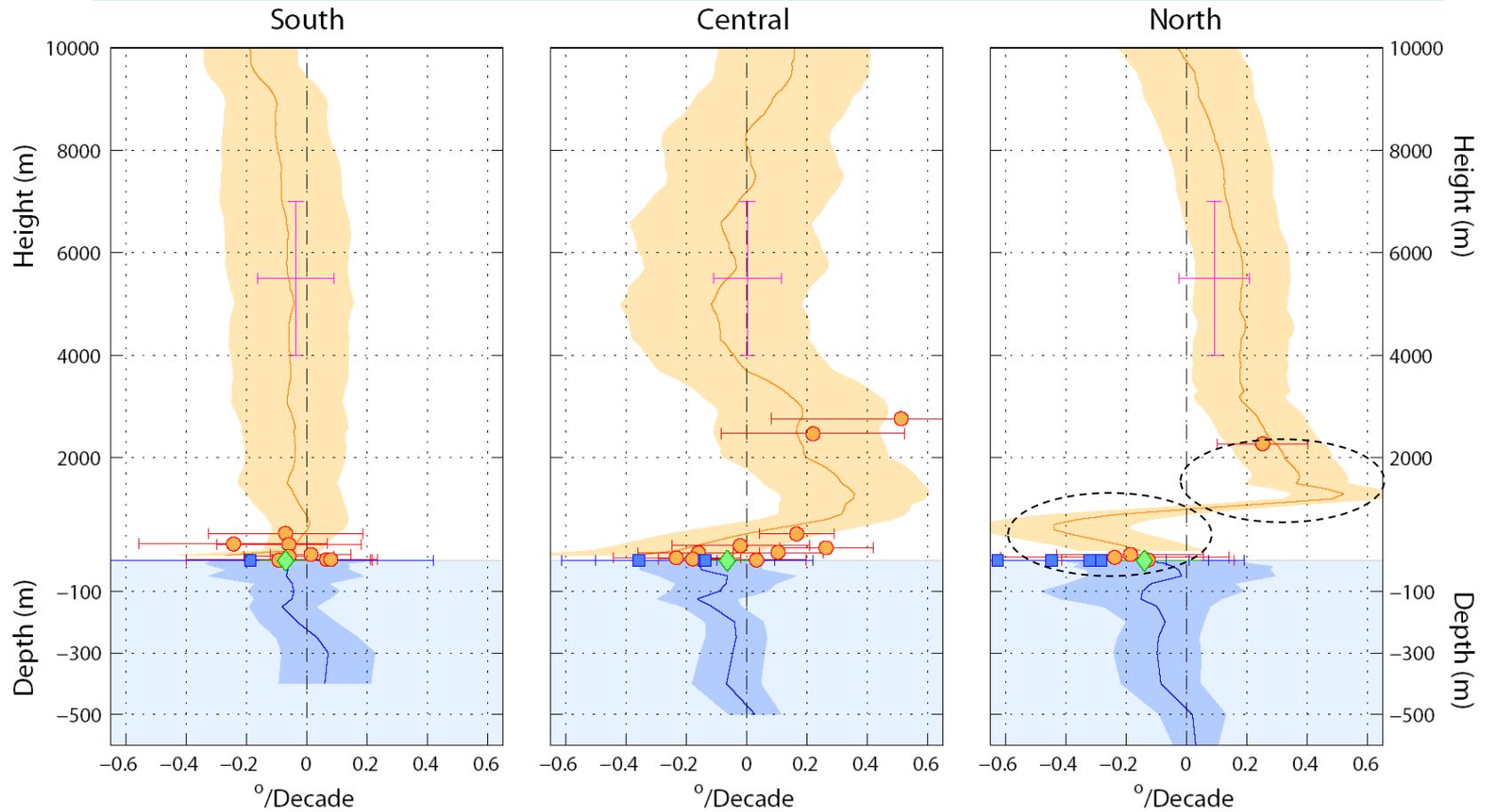
Efecto invernadero, versión 2 (Lindzen 1999, 2007)



Cambios observados en CO₂ → Cambios observados en Tsfc

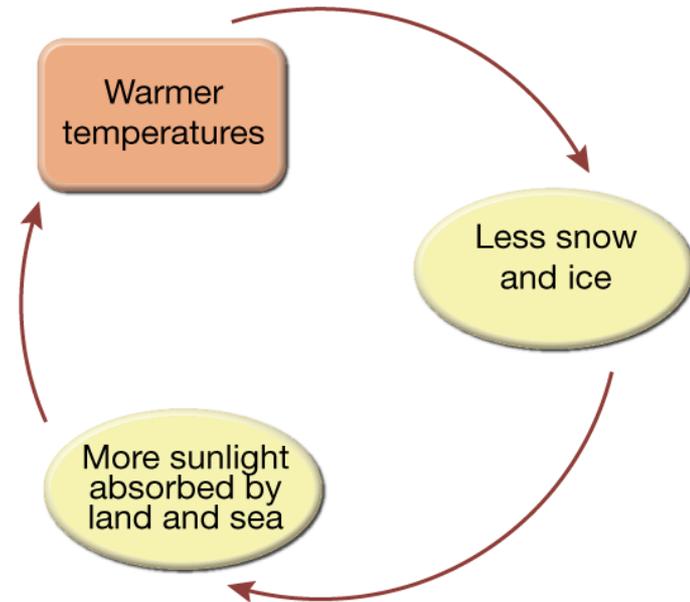
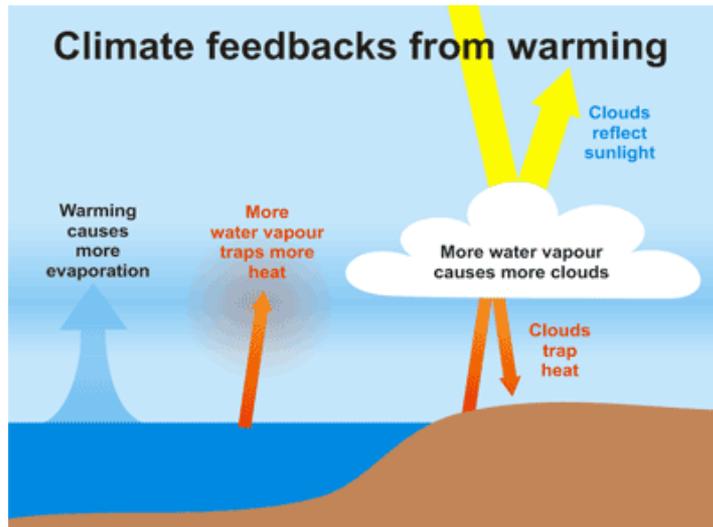


Cooling MBL / warming lower free troposphere → increased lower tropospheric stability ... Sc?



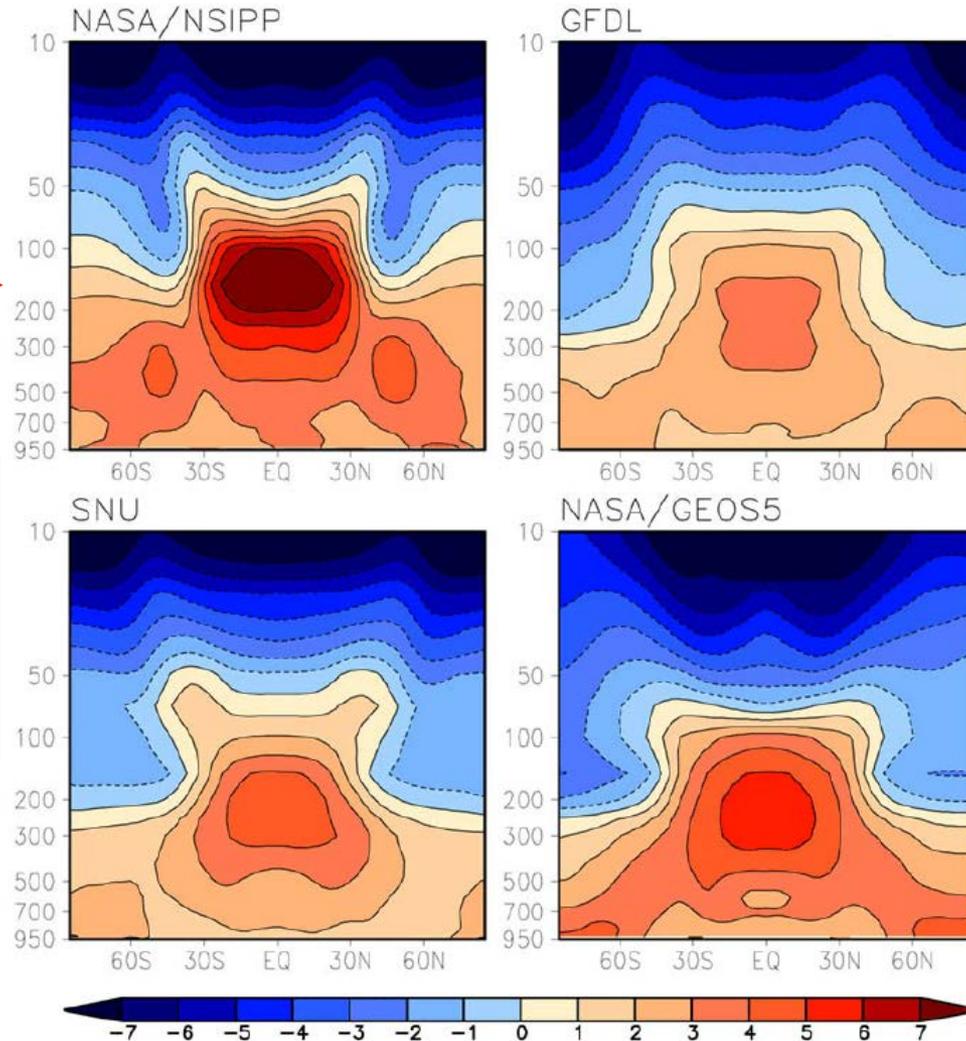
Falvey & Garreaud 2009

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



Efecto invernadero, versión 2

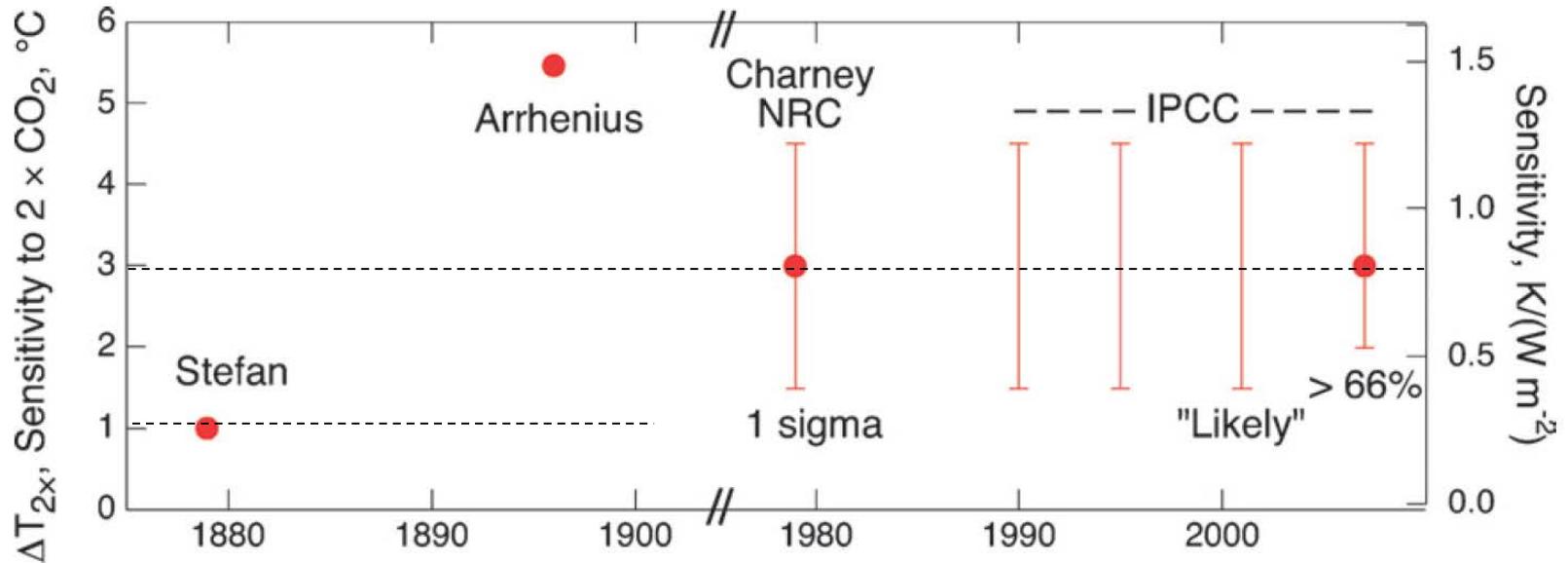
Promedio zonal cambio temperatura 2*CO₂-CTR



Modelos y argumentos físicos simples predicen máximo calentamiento en troposfera alta

Zonal mean distributions of temperature change (2xCO₂-Control). Units are Kelvin.

Sensibilidad climática: $\Delta T(2 \times \text{CO}_2)$ Fácil de calcular en los modelos GCMs

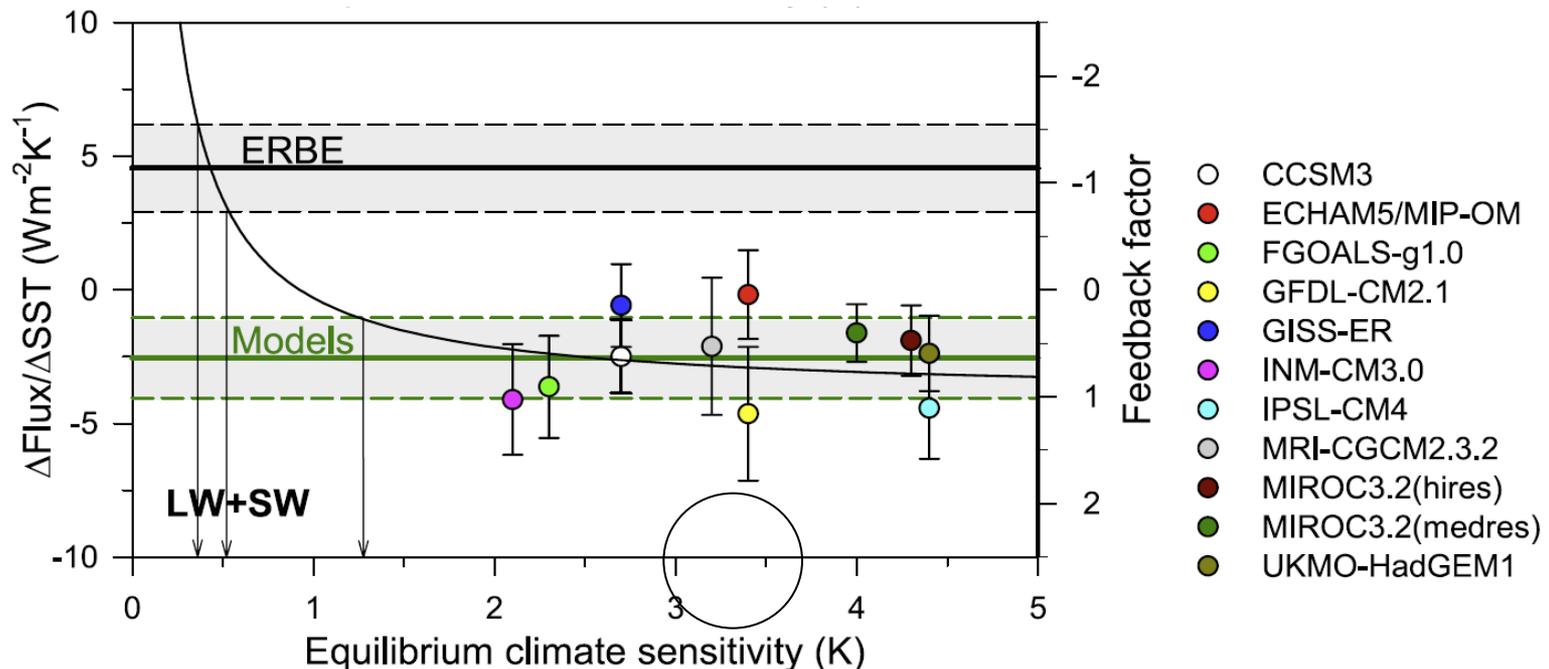


Sensibilidad climática ($2 \times \text{CO}_2$) SIN retroalimentación $\sim 1.2^\circ\text{C}$

Sensibilidad climática $\Delta T(2\times\text{CO}_2)$ empleando observaciones de TSM / Radiación emergente

Fuertemente atacado por main-stream

$\Delta T(2\times\text{CO}_2) \sim 0.6^\circ < 1.2^\circ\text{C} \rightarrow$ Feedback negativos (Cuales?)

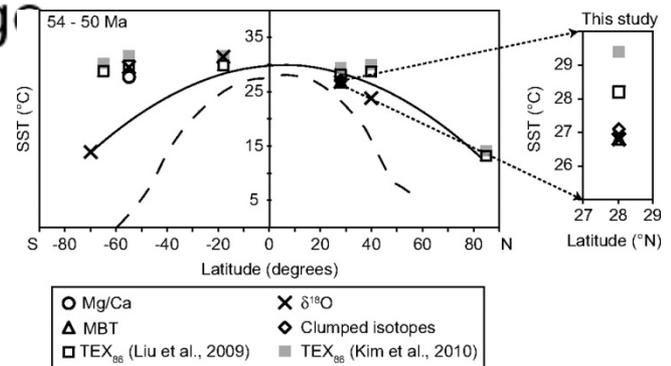
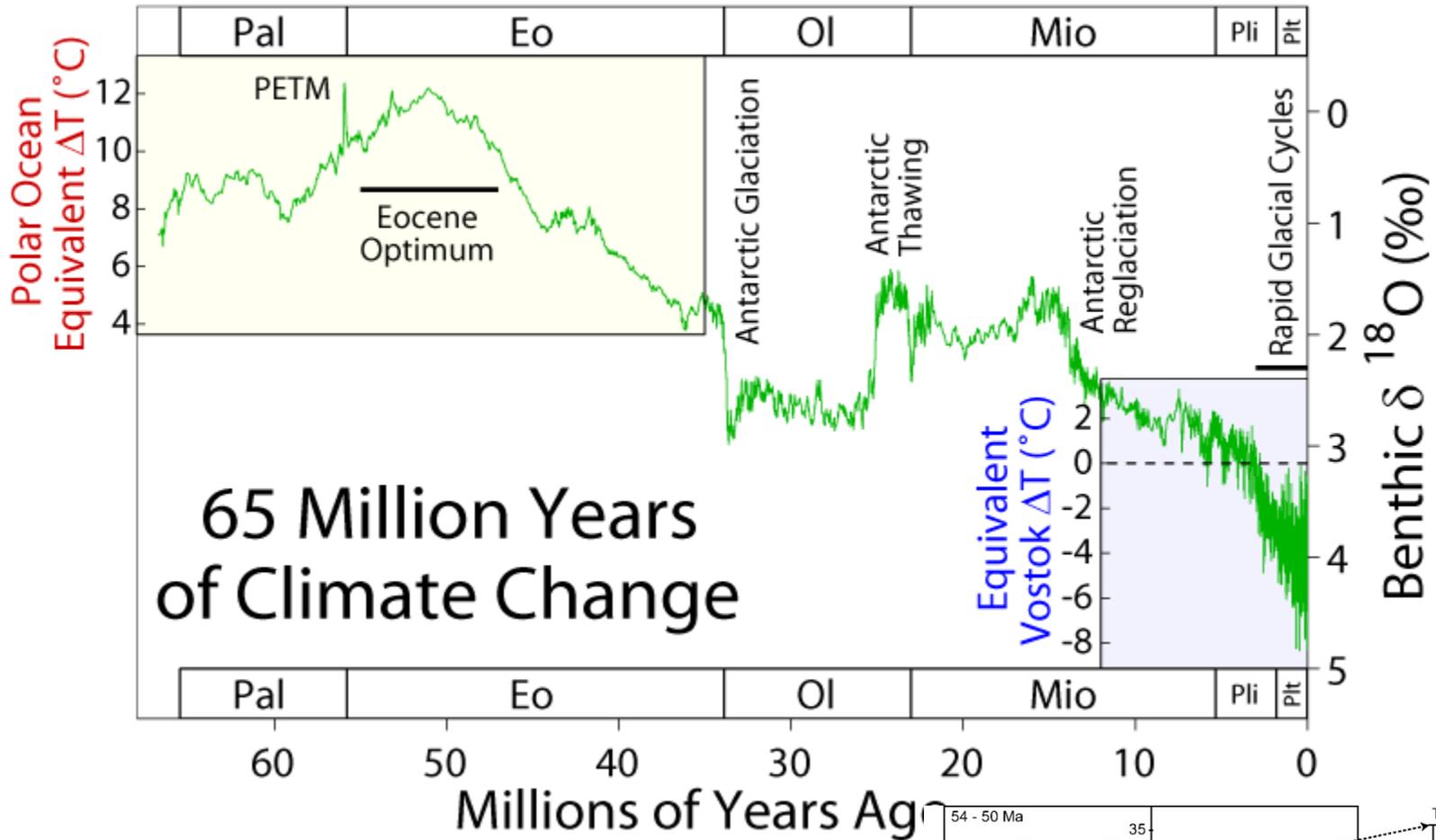


On the determination of climate feedbacks from ERBE data

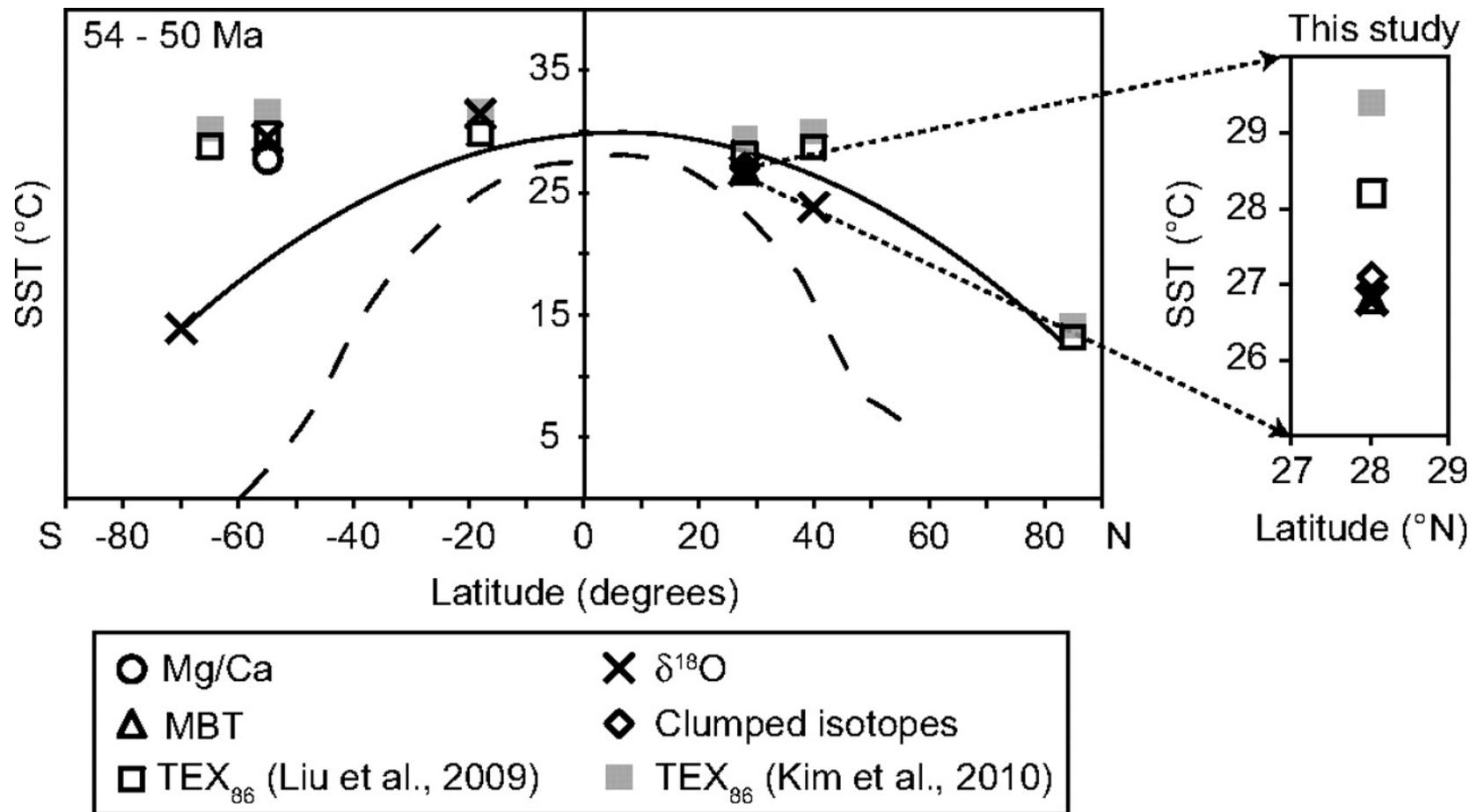
Richard S. Lindzen¹ and Yong-Sang Choi¹

GRL

Received 16 June 2009; revised 14 July 2009; accepted 20 July 2009; published 26 August 2009.



Latitudinal gradient for the early Eocene (54–50 Ma) based on paleotemperature reconstructions in the literature (Bijl et al., 2009; Creech et al., 2010; Hollis et al., 2009; Pearson et al., 2007; Sluijs et al., 2006; Zachos et al., 2006) and this study.

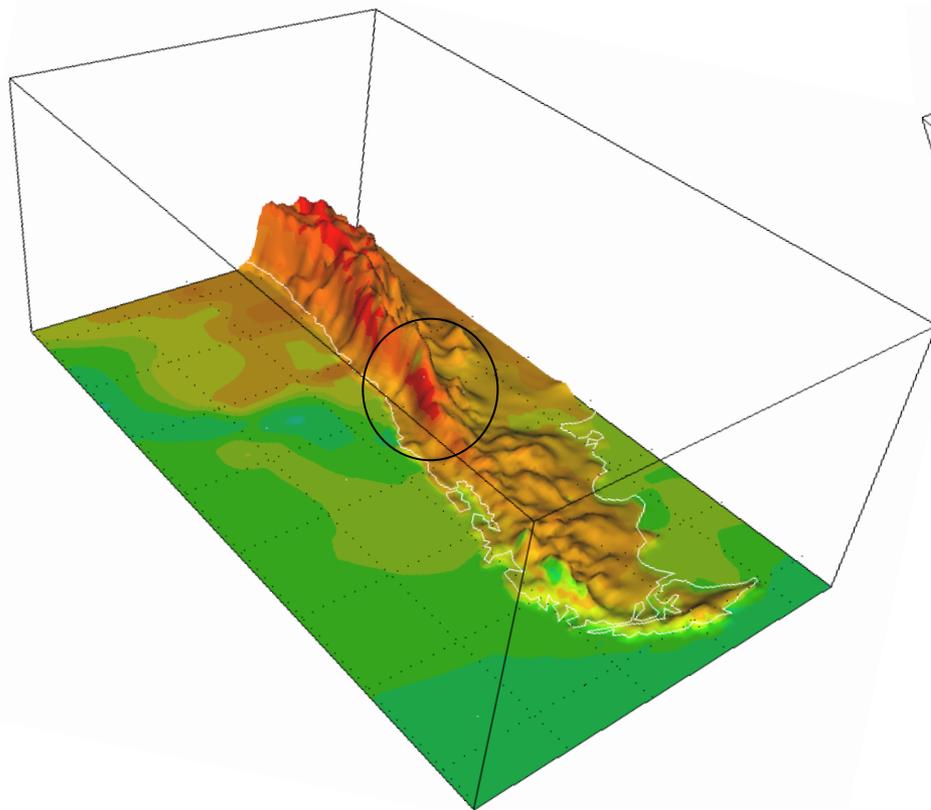


Keating-Bitonti C R et al. *Geology* 2011;39:771-774

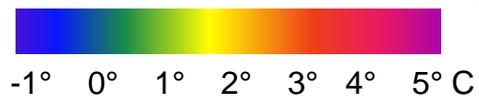
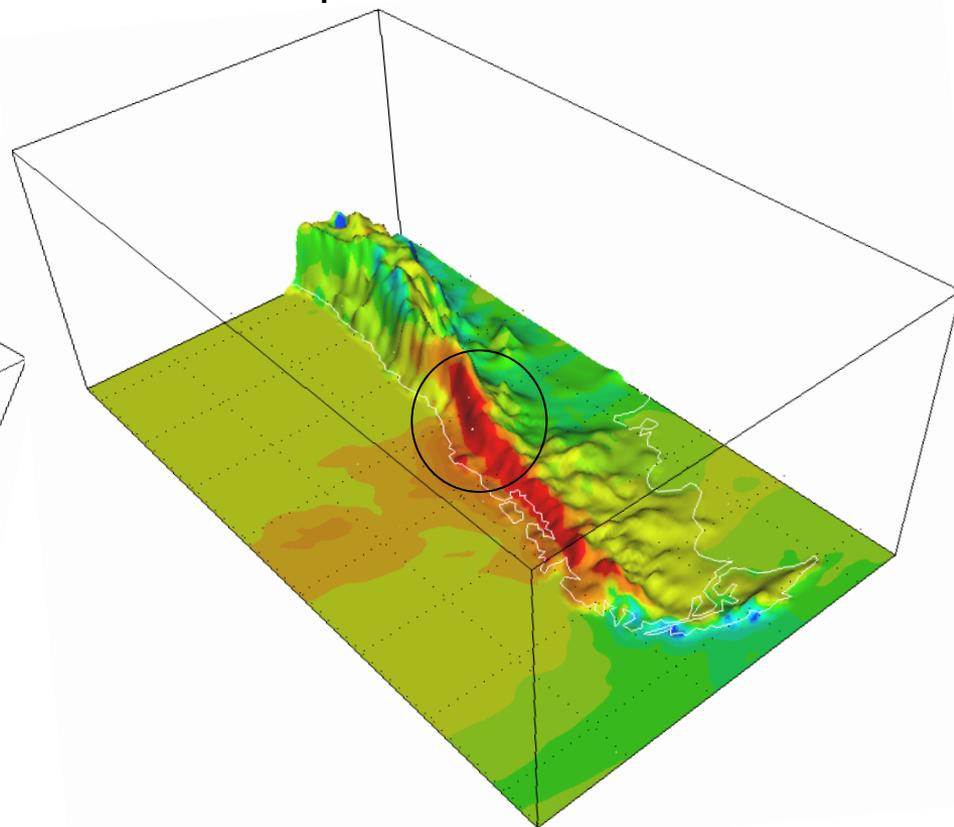


Diferencias A2(2100-2070) – BL(1960-1990)

Temperatura Superficial

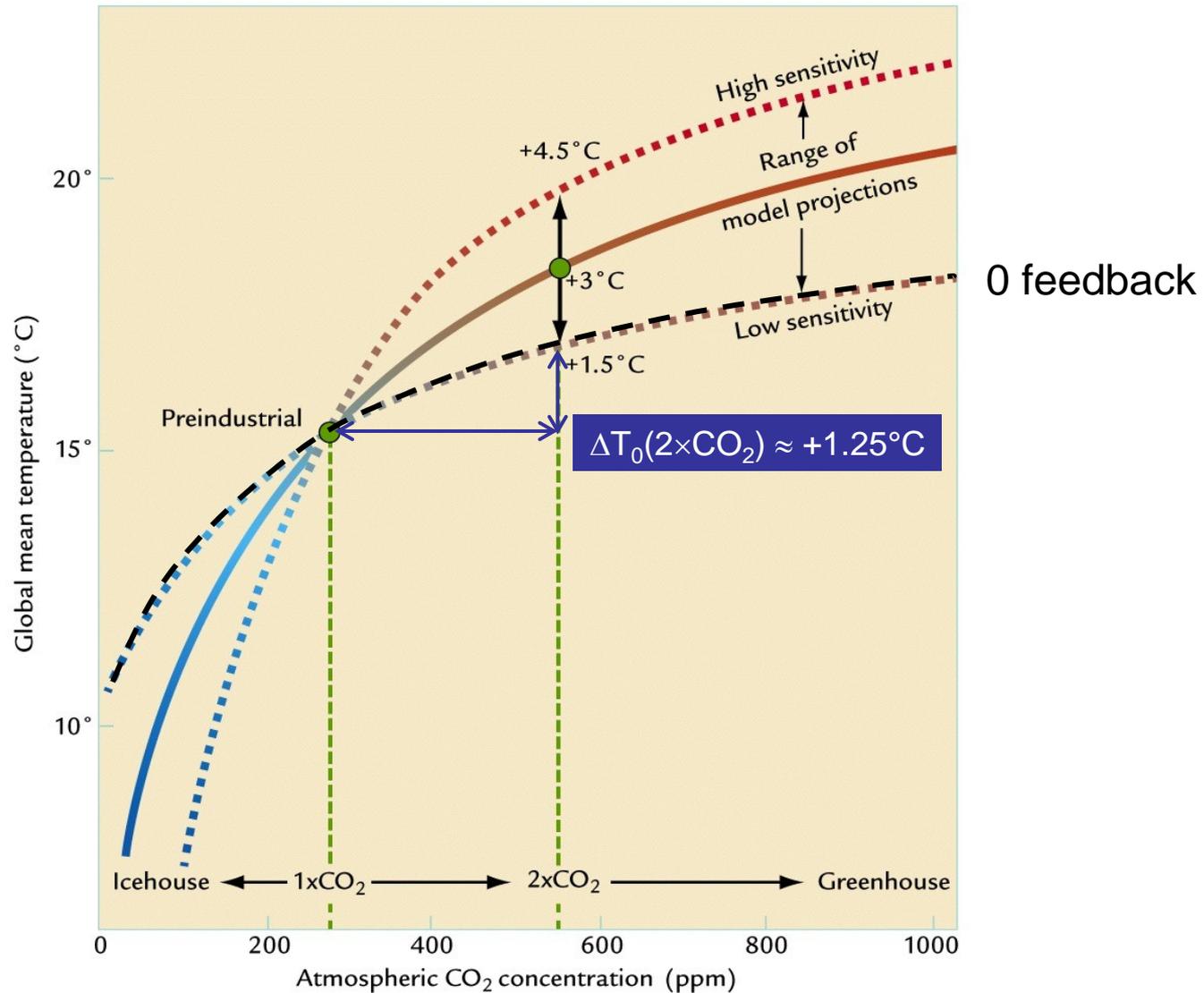


Precipitación



PRECIS-DGF-UCH

Importancia de CO₂ en sistema climático



GCM son casi idénticos a los modelos empleados para pronóstico del tiempo, los cuales tienen un desempeño notable en su capacidad predictiva. El aumento del “skill” en gran parte debido a una mejor inicialización

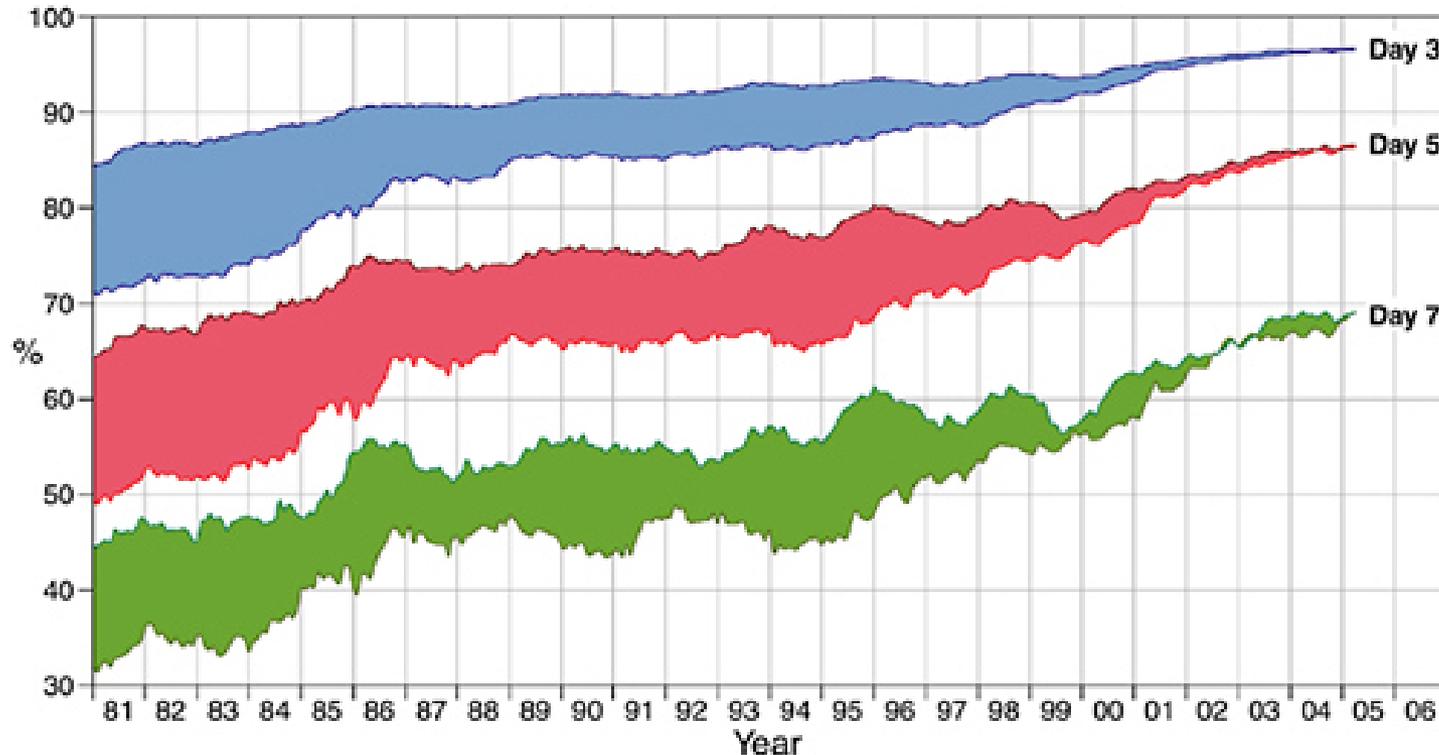


FIGURE 1.1.1 Anomaly correlation of 500 hPa height forecasts. SOURCE: Adapted from A.J. Simmons and A. Hollingsworth, 2002, “Some Aspects of the Improvement in Skill of Numerical Weather Prediction,” Q.J.R. Meteorol. Soc. 128:647-678. Copyright Royal Meteorological Society. Reprinted with permission.

Sensibilidad climática: $\Delta T(2\times\text{CO}_2)$ Fácil de calcular en los modelos GCMs

