

Nuestro Clima Cambiante: Que sabemos y que no?

René D. Garreaud

*Departamento de Geofísica
Center for Climate and Resilience Research (CR)²
Universidad de Chile*

Ciclo de Seminarios SERNAGEOMIN
Santiago, 07 Mayo 2014

Temario

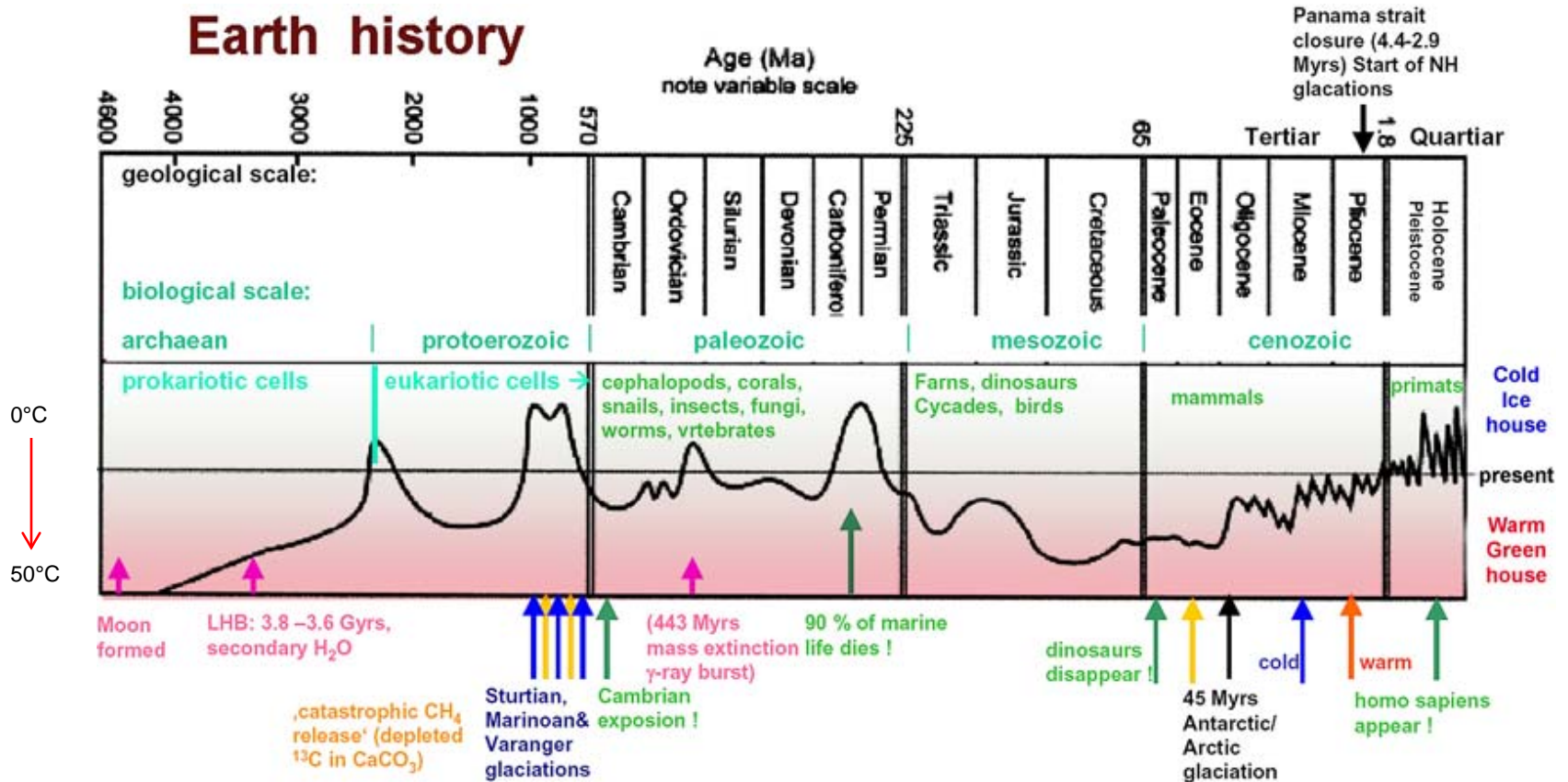
1. Aspectos básicos

2. Cambios observados

3. Atribución y Proyecciones

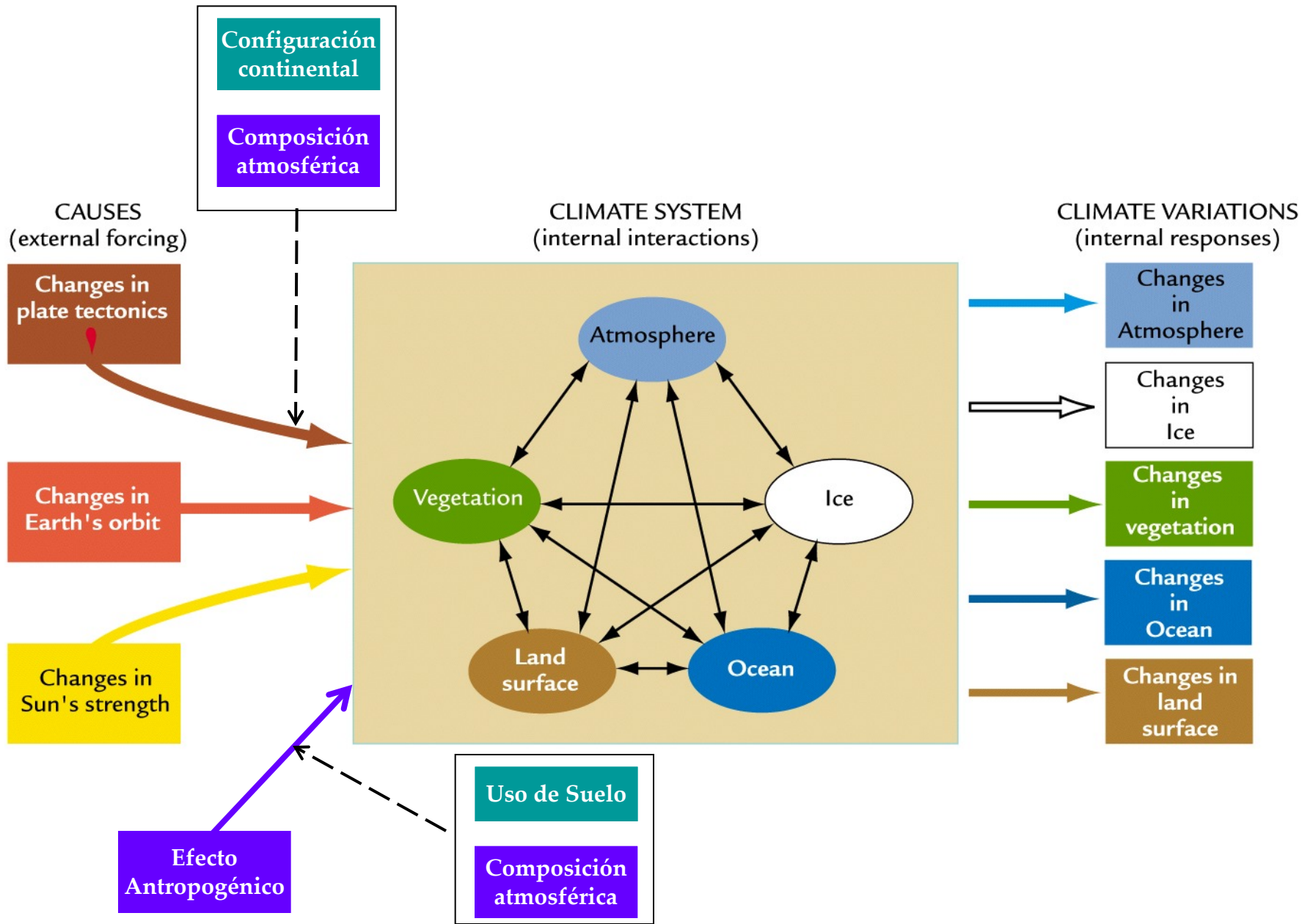
4. Incertidumbre y conclusiones

Historia climática del Planeta



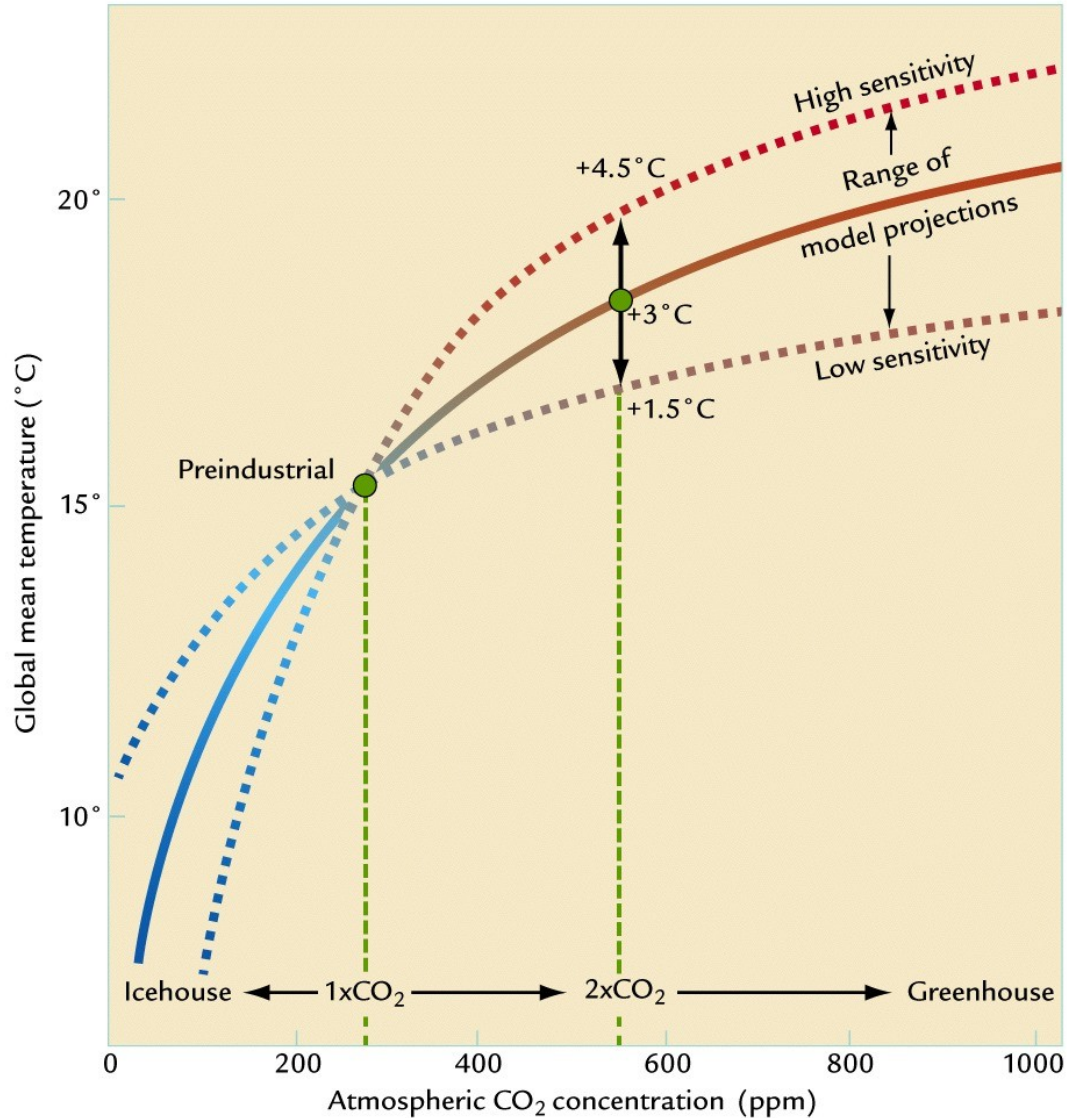
- Permanente cambio → forzamientos e inestabilidades
- Variaciones de T en un rango pequeño (biosfera $\forall t$) → termostato
- Usualmente más cálida que condición actual

Historia climática del Planeta

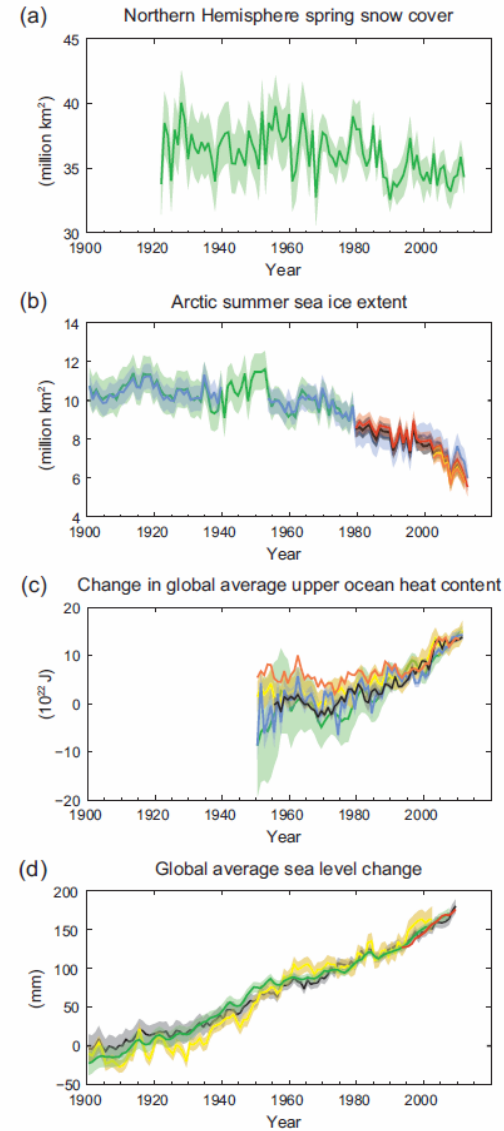
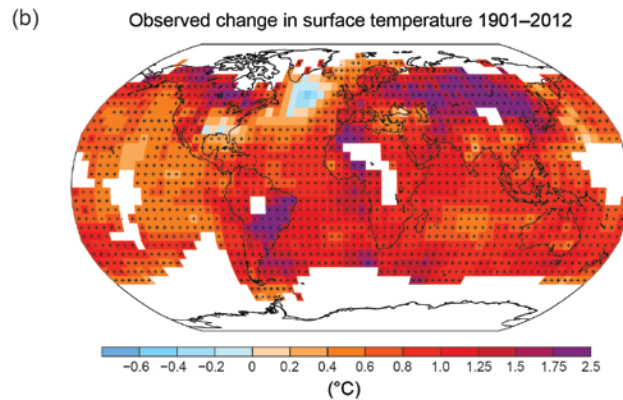
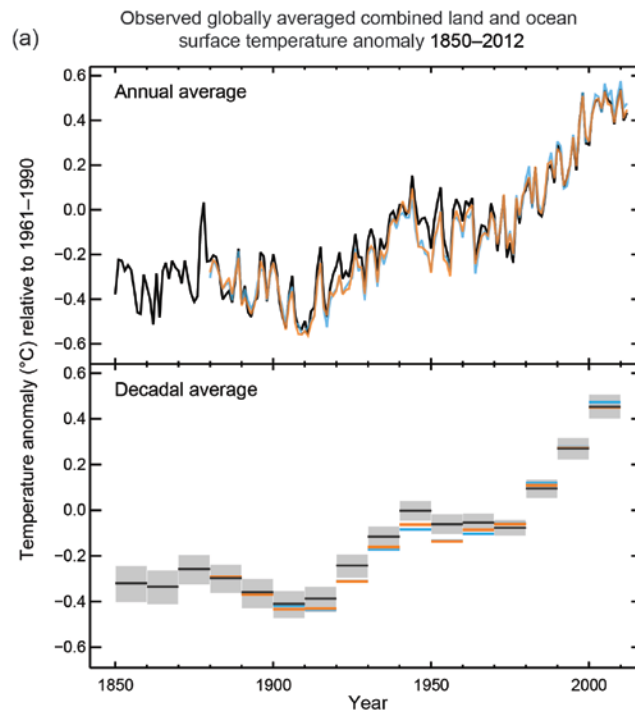


Historia climática del Planeta

Importancia del CO₂ en sistema climático



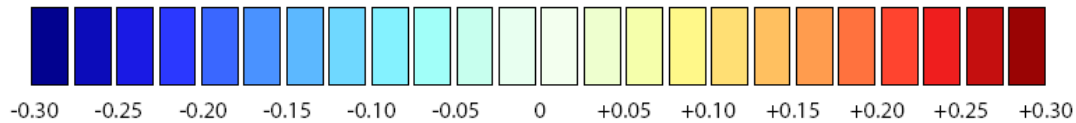
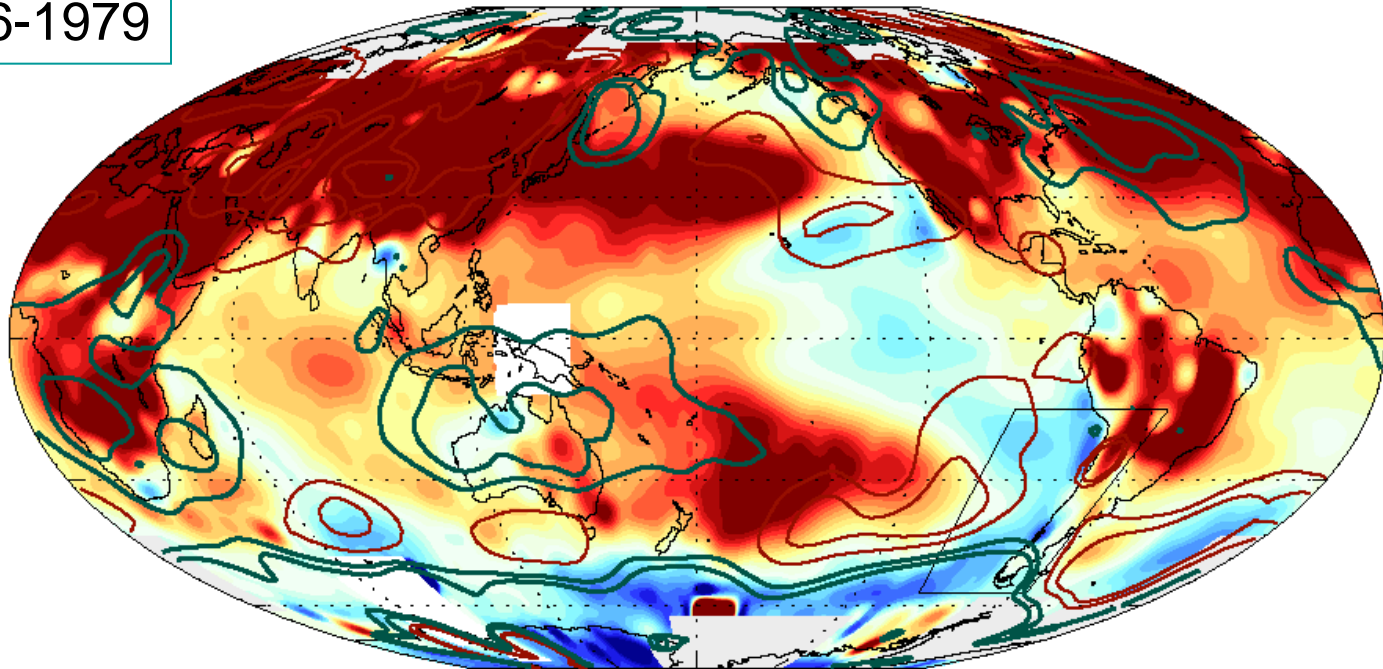
Cambios observados en Temperatura Superficial



Cambios observados en Temperatura Superficial

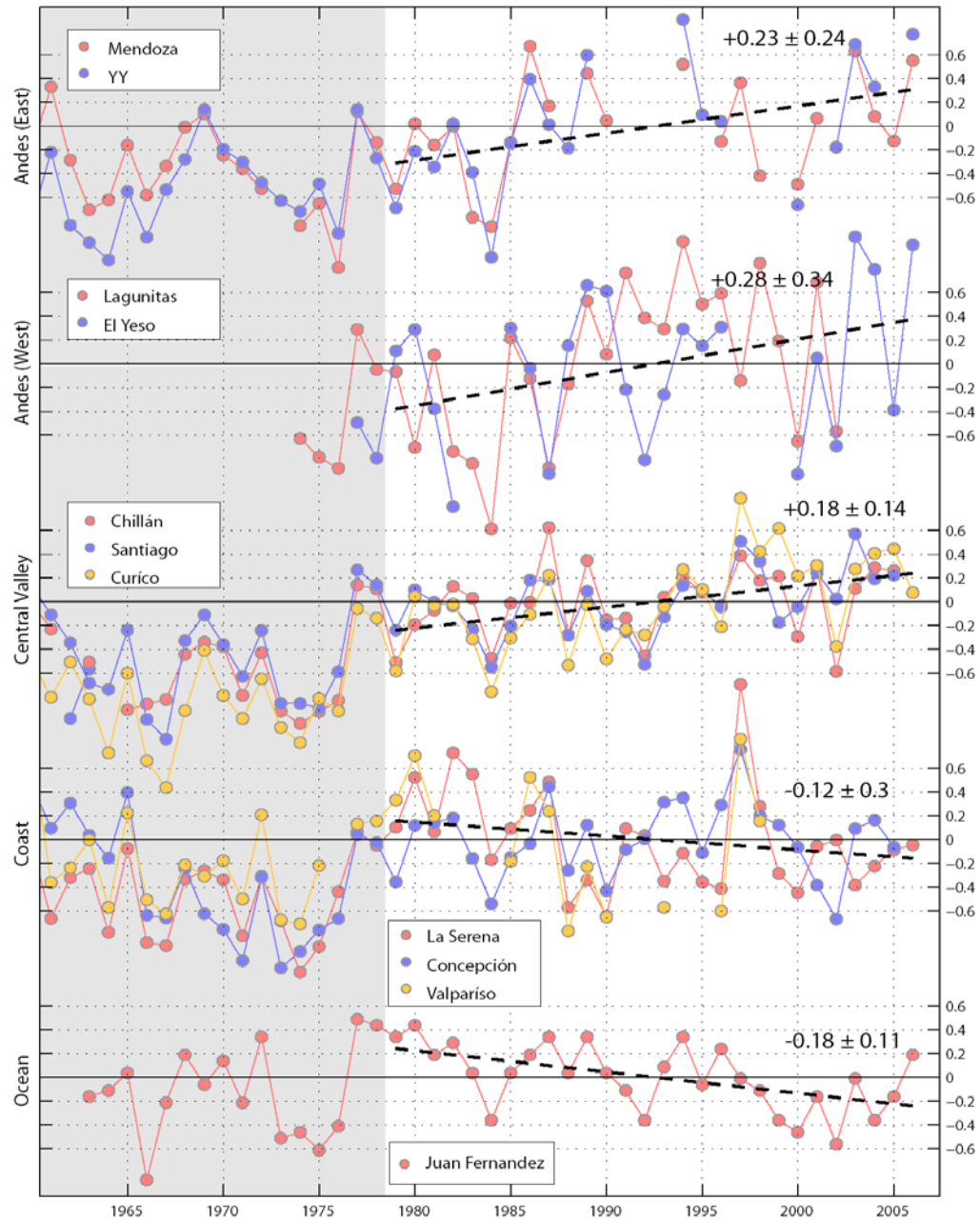
2006-1979

Surface Air Temperature and SST (NCDC)



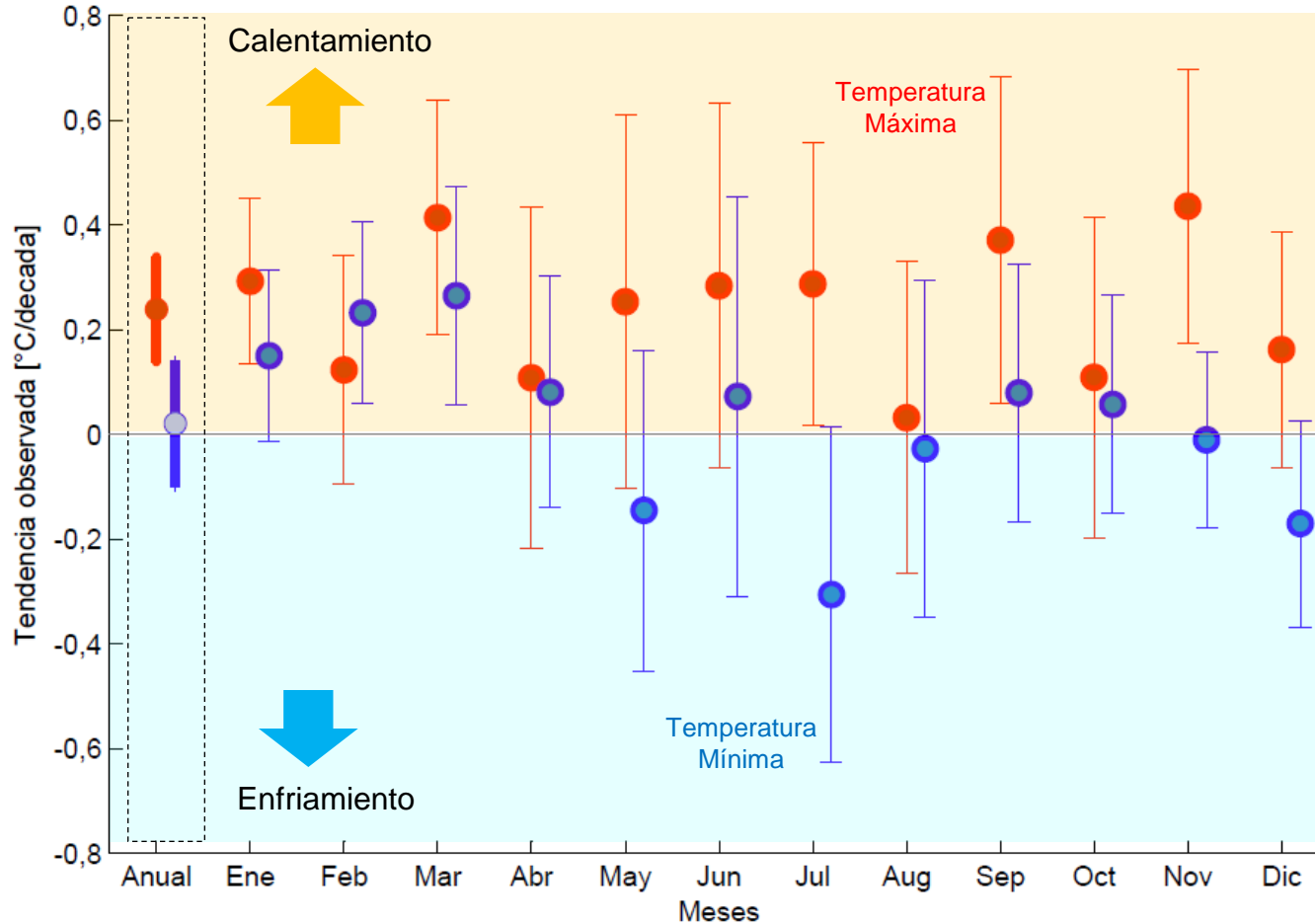
Temperature Tendency 1979-2006 ($^{\circ}$ / decade)

Cambios de Temperatura en Chile



Cambios observados en Temperatura Superficial

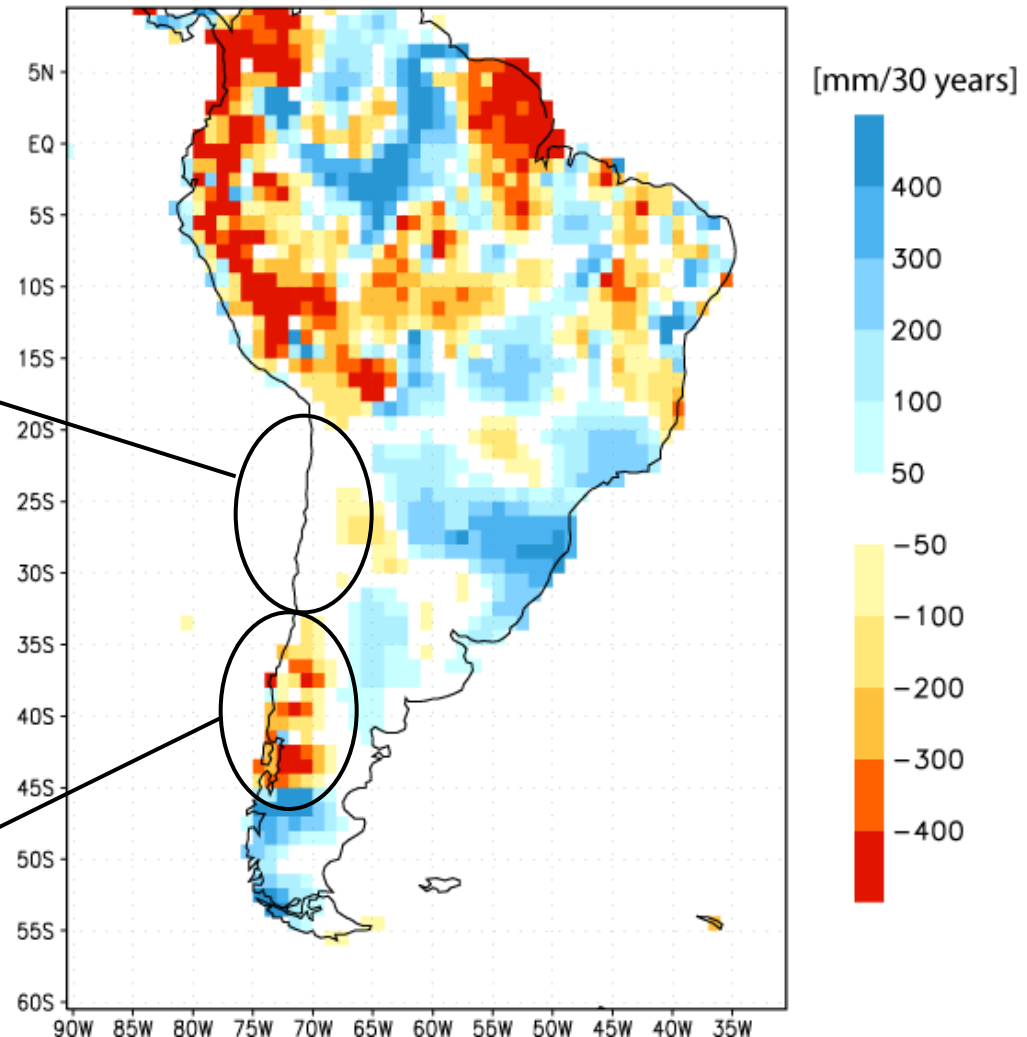
Estación Quinta Normal, Santiago
1976-2012



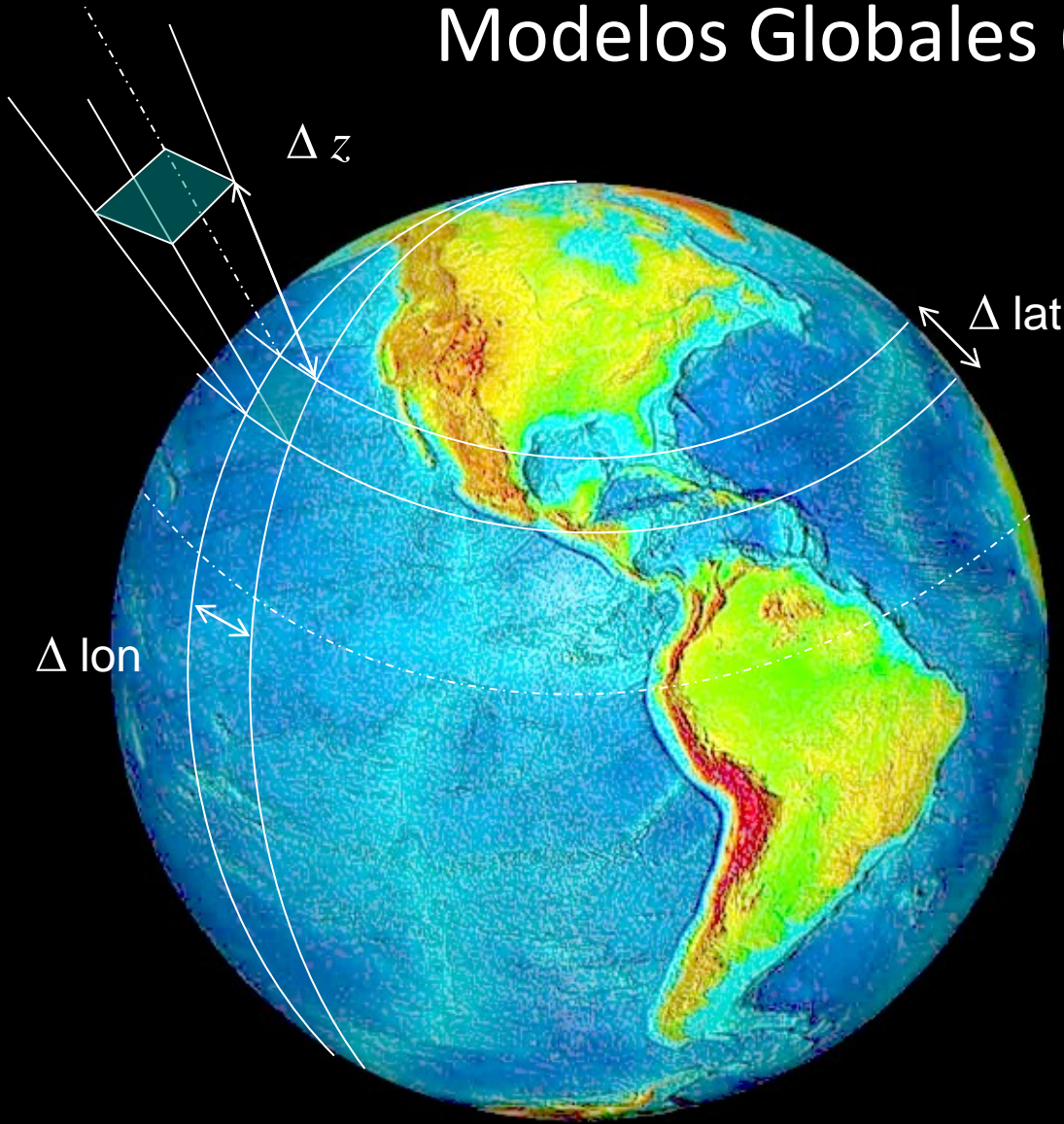
Cambios observados en Precipitación (1960-hoy)

- Semiarid climate
- MAP ~ 30-500 mm
- $\sigma(\text{IA})/\text{MAP} \sim 0.3 - 0.5$
- Strong ENSO Impact
- No significant trend

- Rainy climate
- MAP ~ 1000-3000 mm
- $\sigma(\text{IA})/\text{MAP} \sim 0.1$
- Weak ENSO Impact
- Significant drying trend



Modelos Globales (GCM)



CO₂ y otros GEI entran como parámetros variables en el tiempo

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

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

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

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

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

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

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

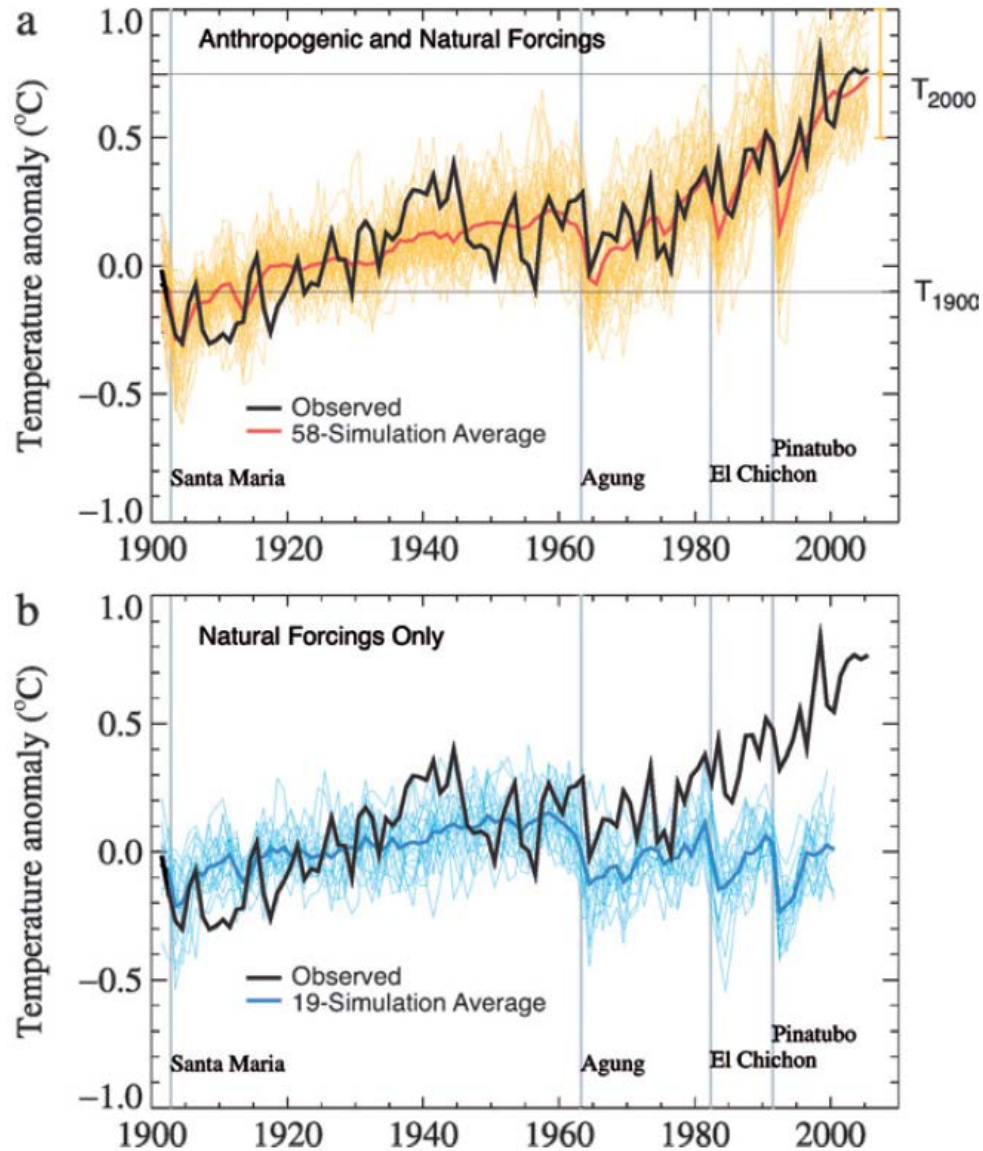
Top of atmosphere: 15-50 km

Modelación de sistemas físicos: GCMs

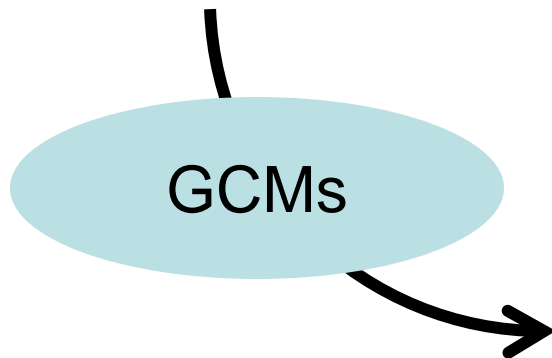
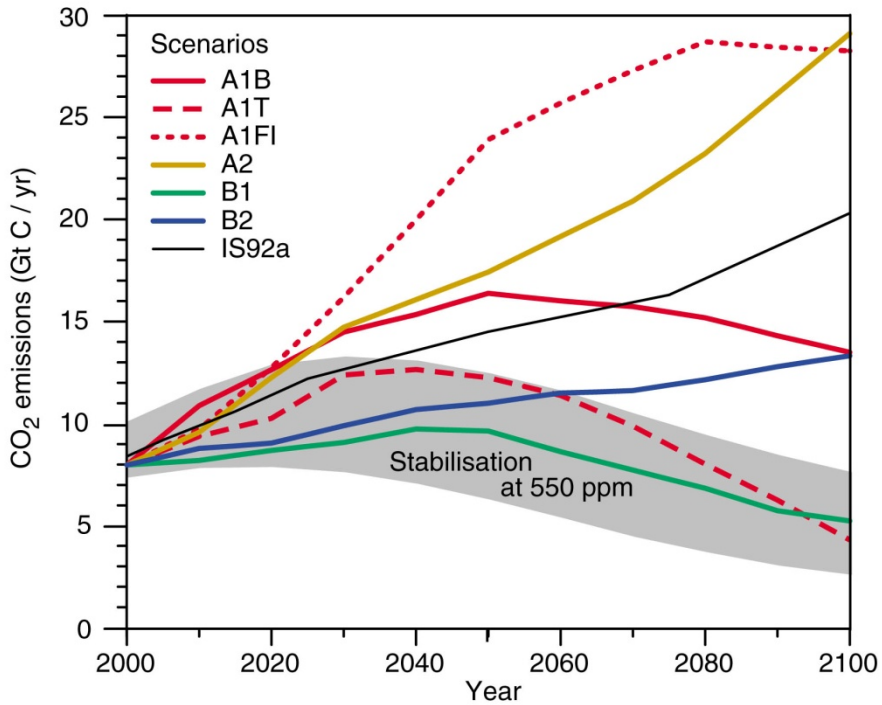
- GCMs: 10 ecuaciones, 20 variables, forzantes y 100 parámetros
- ~ 10 parámetros débilmente acotados
- Forzante GEI siglo XX conocido
- Forzante Aerosoles siglo XX menos conocido
- Contrastar modelo con realidad: Promedio global T_{sfc} siglo XX
- Modificar parámetros hasta obtener un buen ajuste...

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

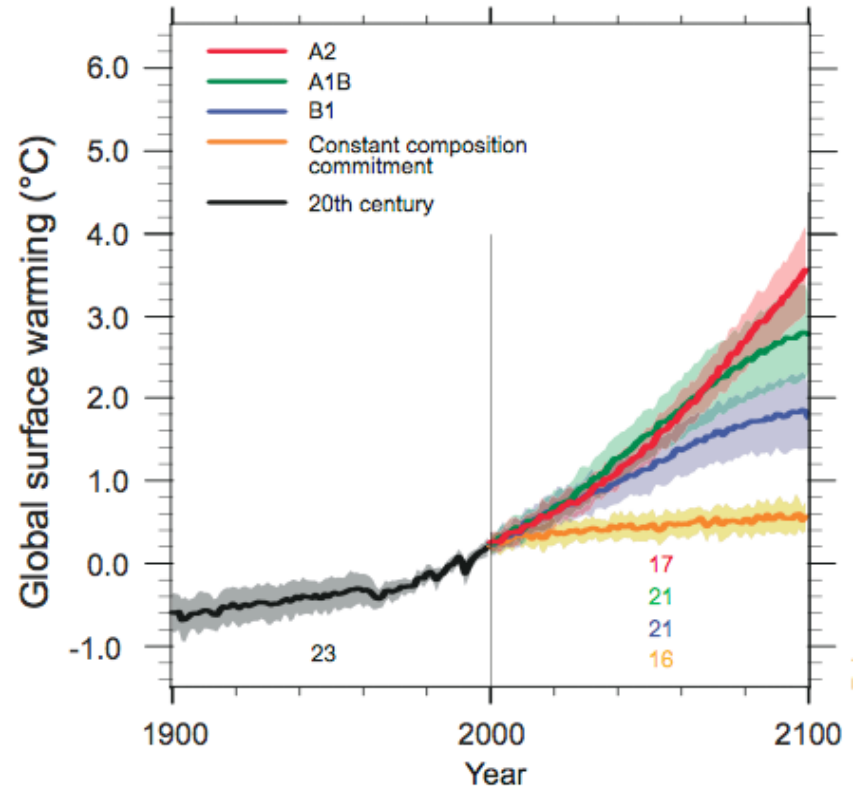
Atribución de cambio climático



Y como viene la cosa?

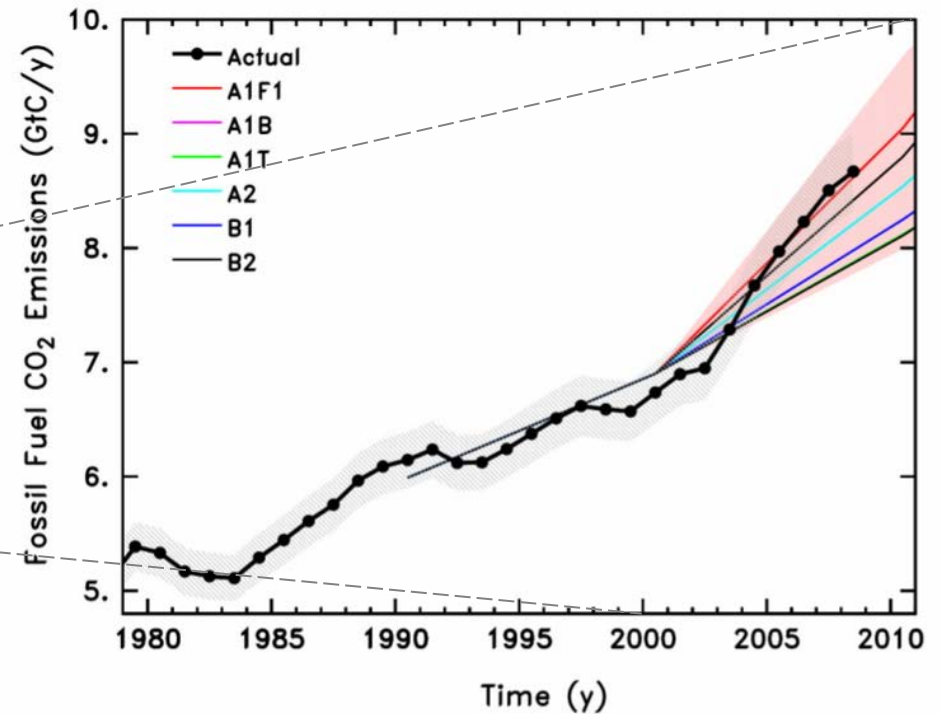
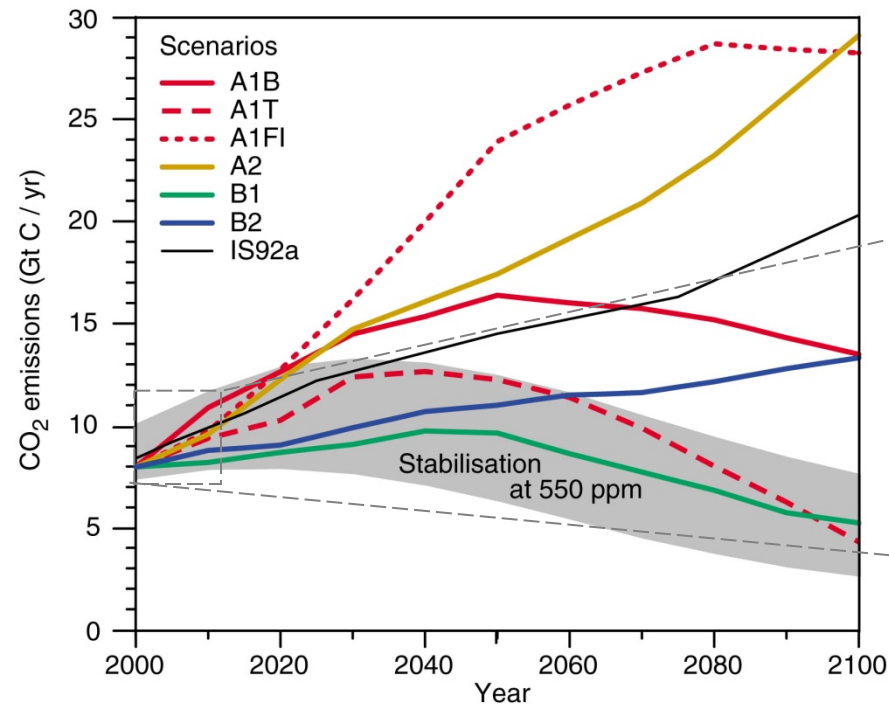


Escenarios Desarrollo Económico-Social



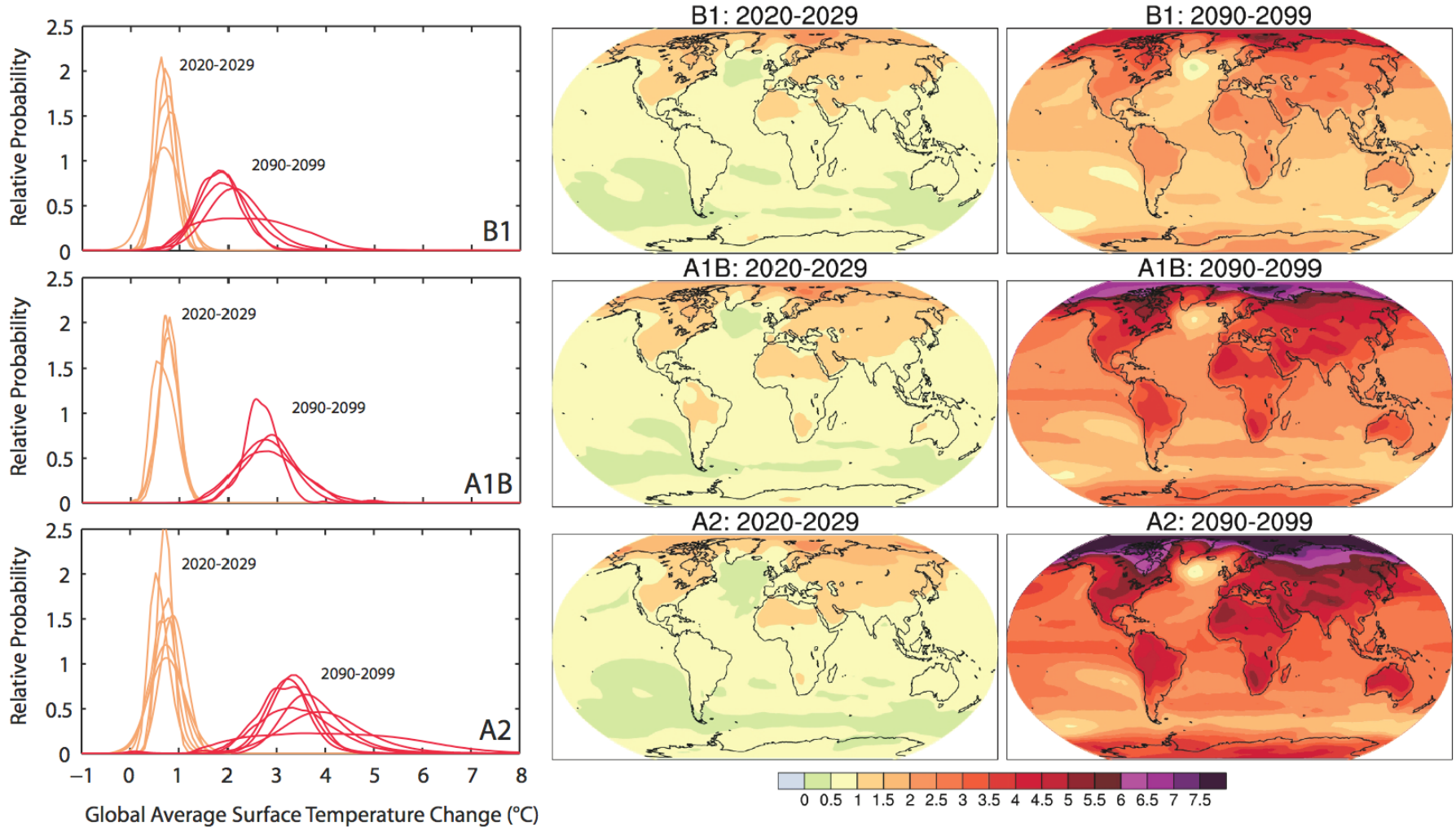
Y como viene la cosa?

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.



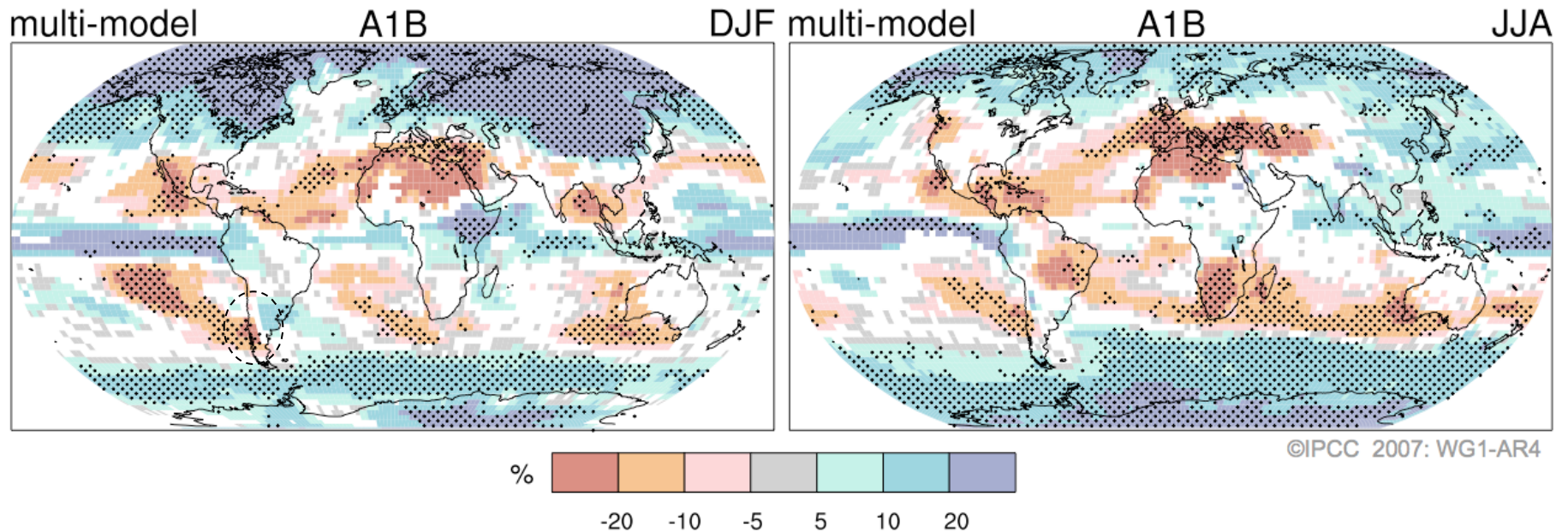
Y como viene la cosa?

AOGCM Projections of Surface Temperatures

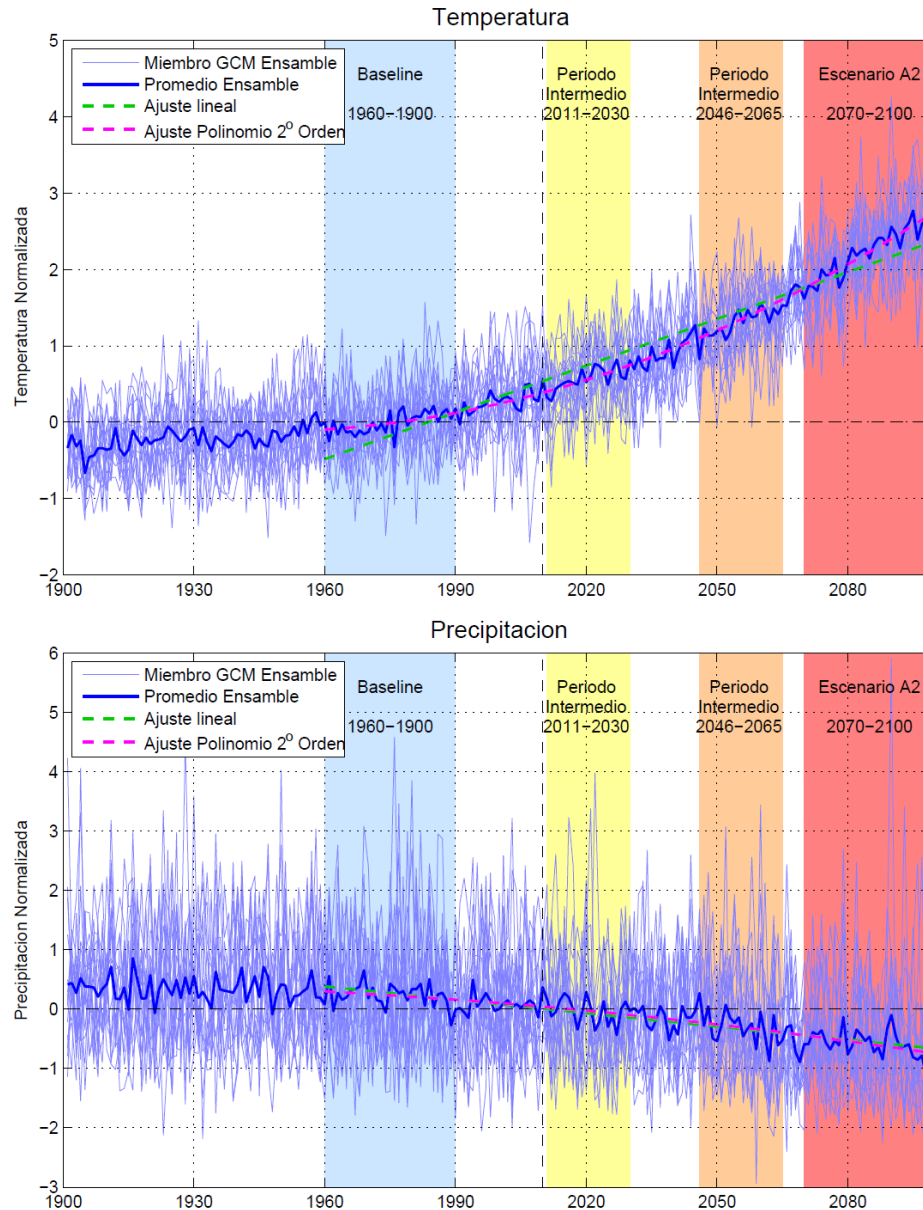


Y como viene la cosa?

Projected Patterns of Precipitation Changes



Proyecciones de TAS y Precipitación para Chile central en base a ensemble multi-modelo CMIP3

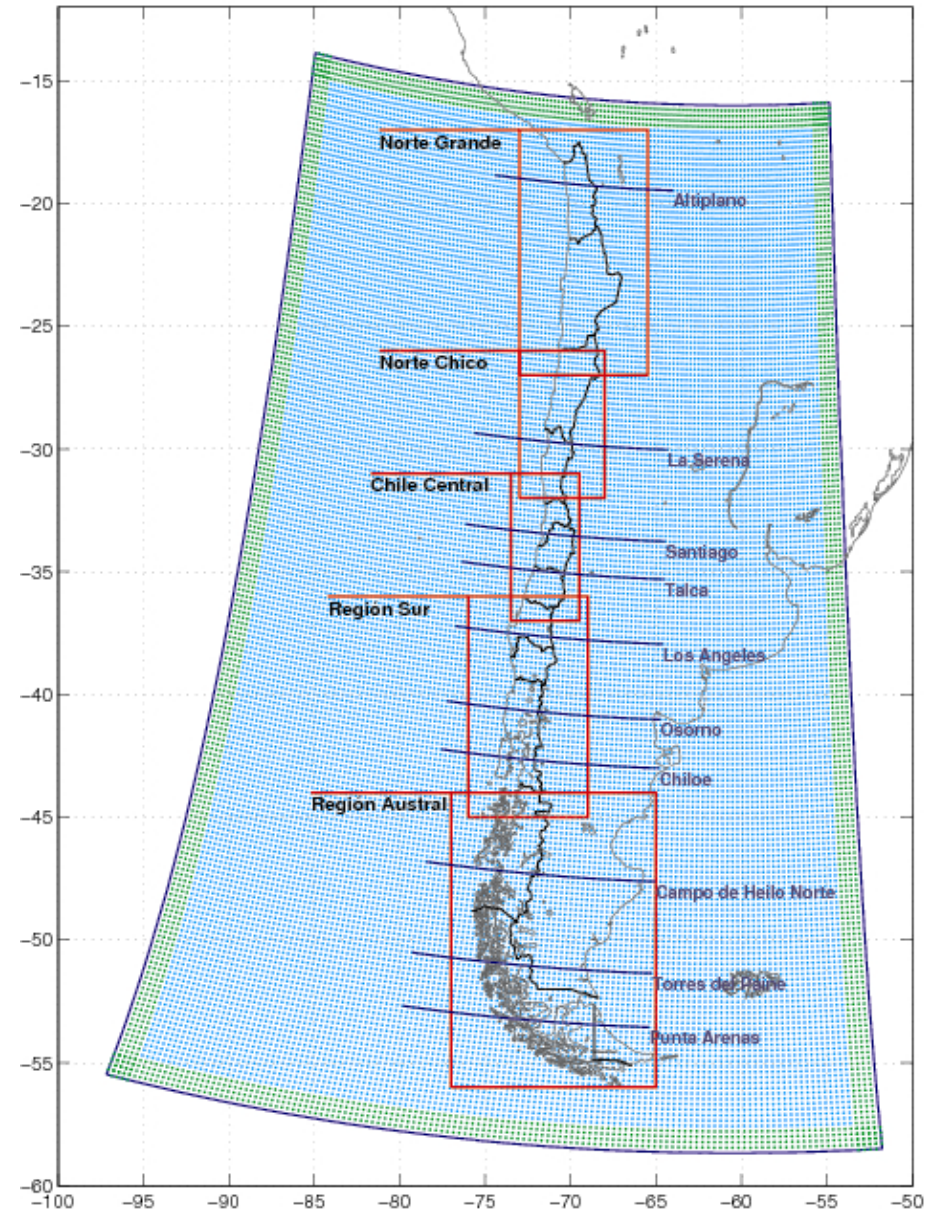


Proyecto CONAMA – DGF/UCH

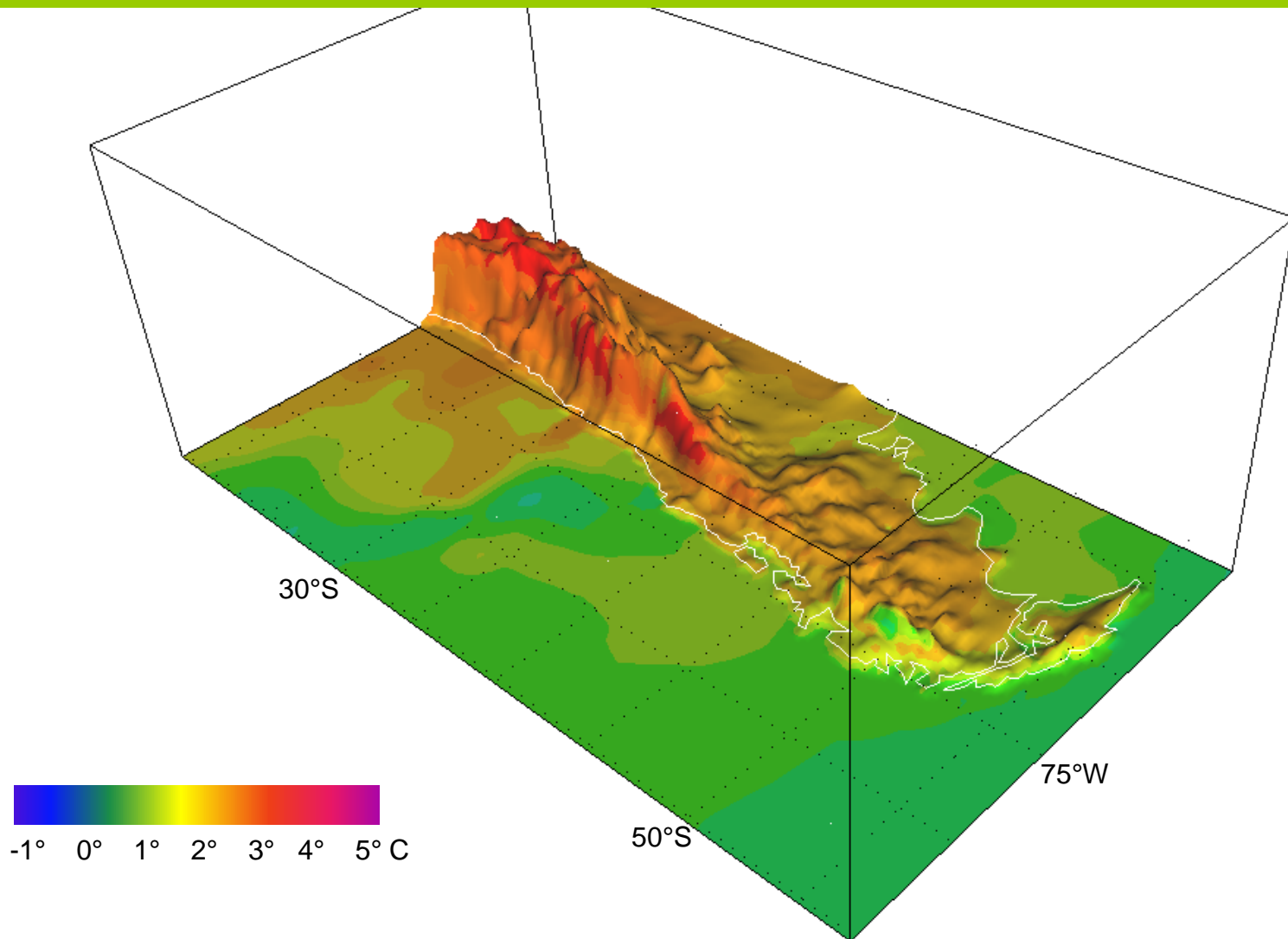
<http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS>

Simulaciones disponibles

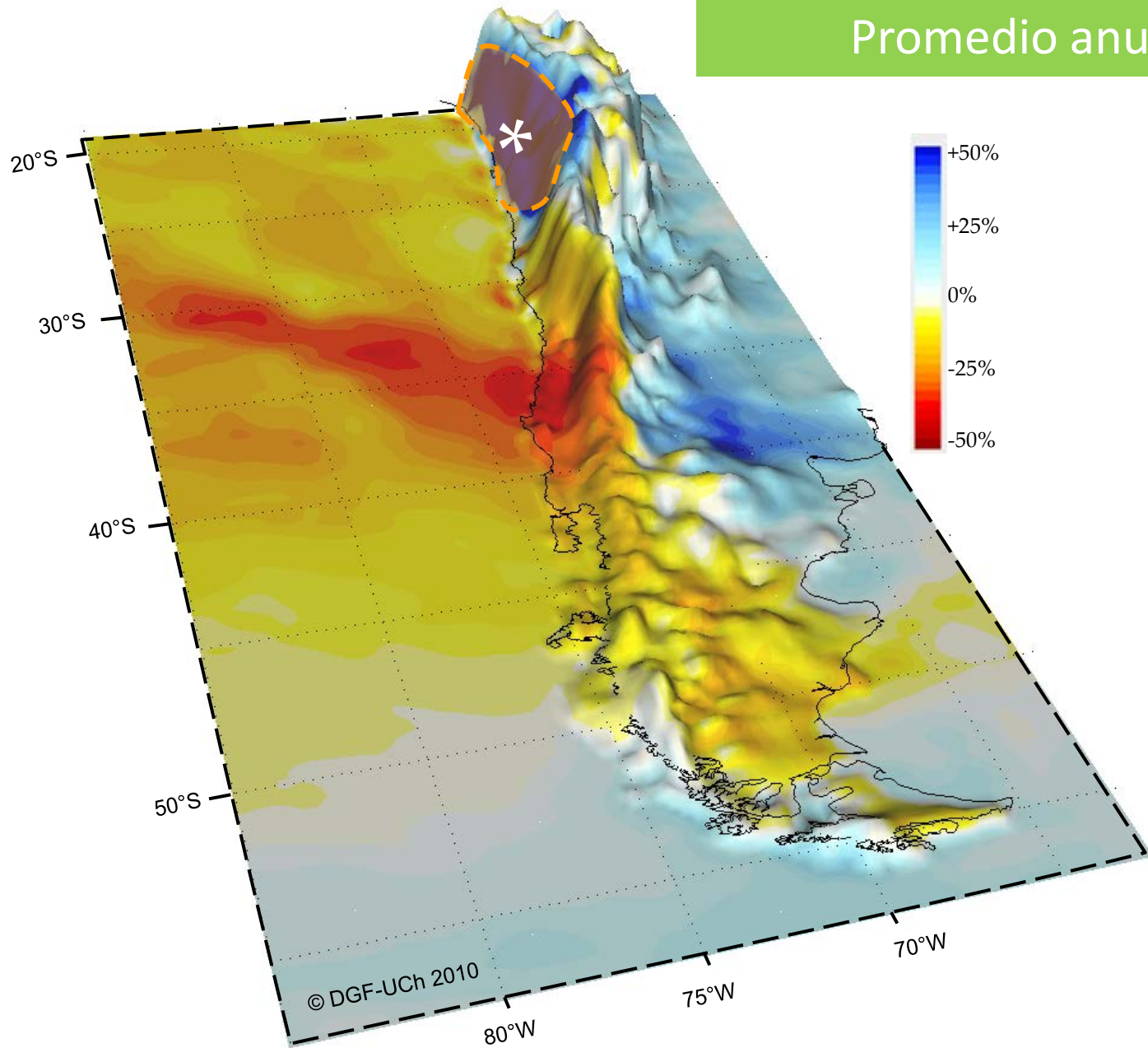
- 1961-1990 línea base
- 2071-2100 SRES A2 y B2
- 25 km de resolución
- Datos diarios



Diferencia Temperatura 2-m A2-BL

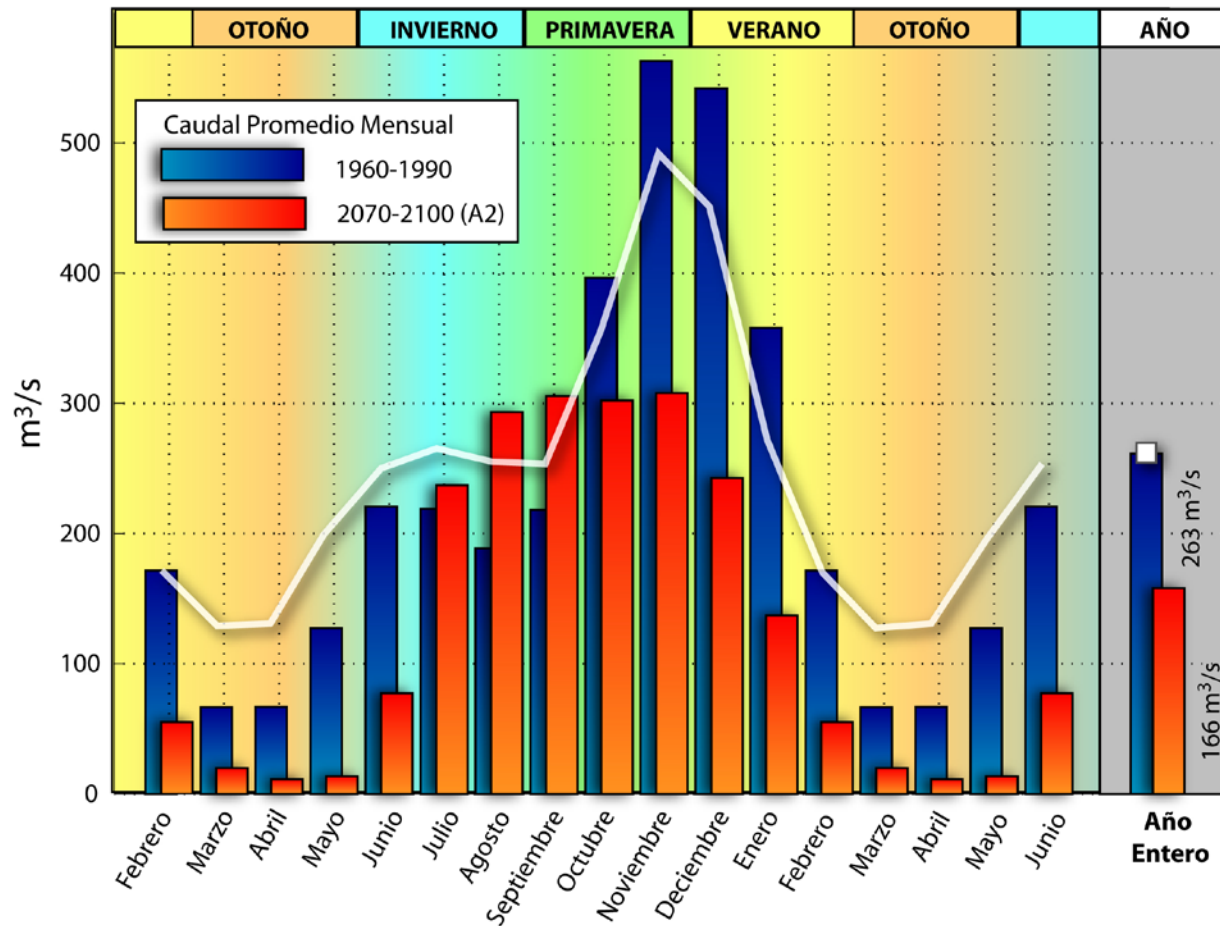


$100 * [P(A2) - P(BL)] / P(BL)$
Promedio anual



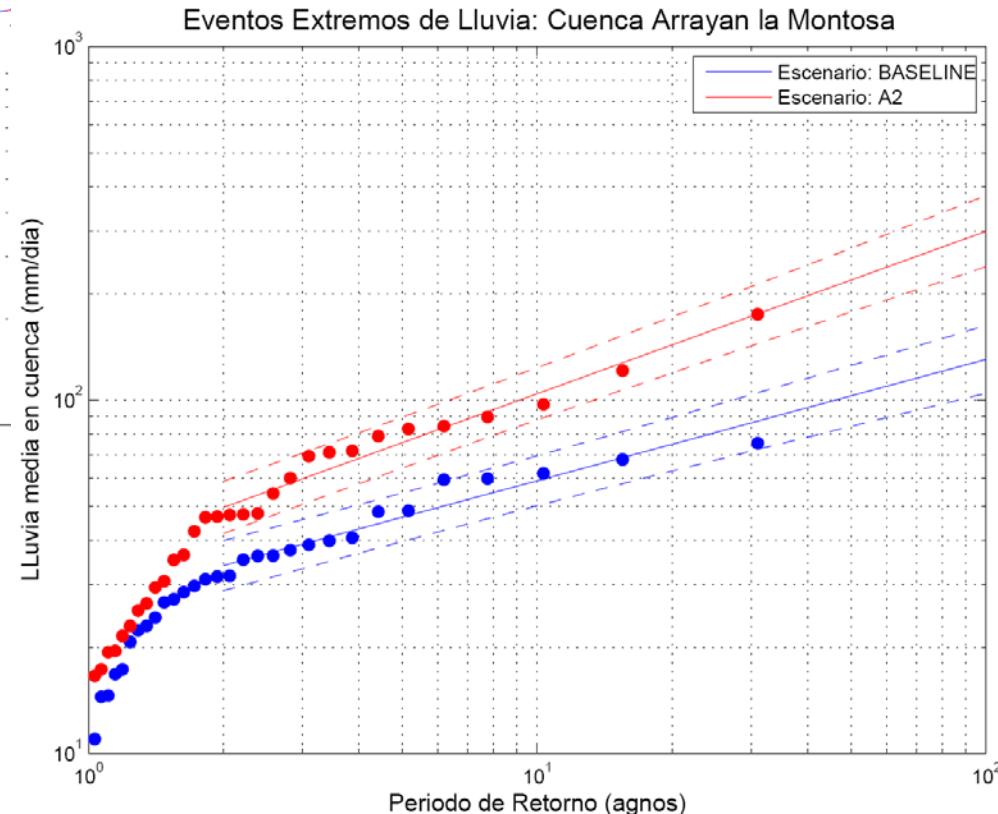
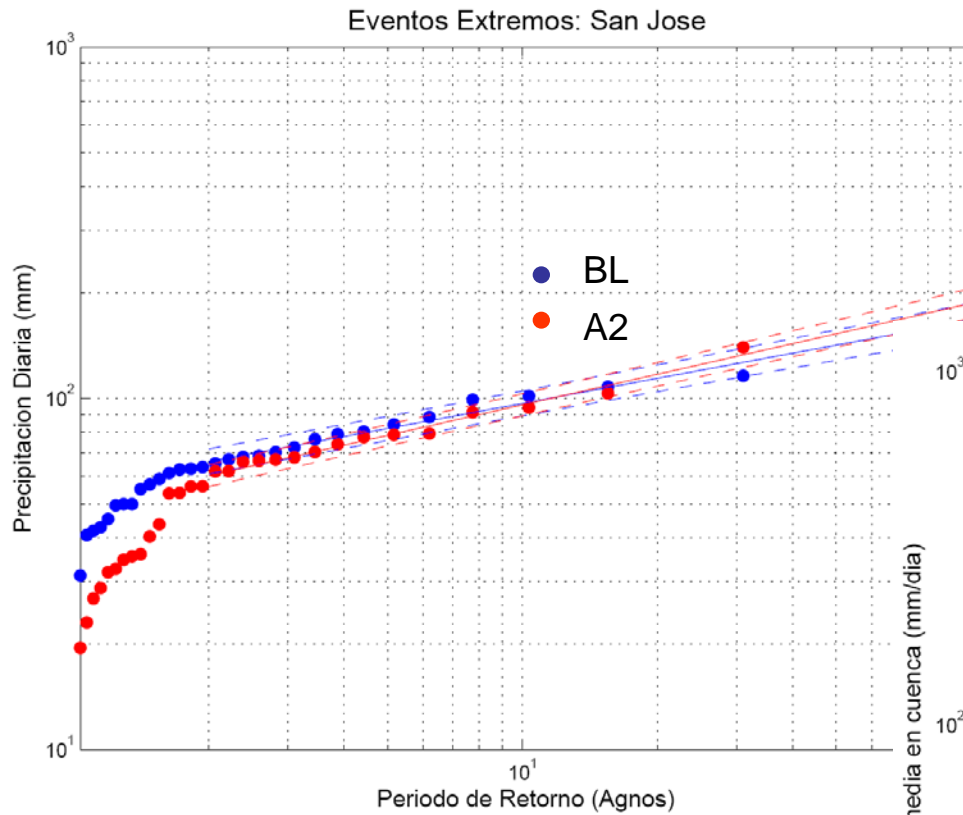
PRECIS-DGF Acomplamiento con modelos hidrológicos.

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



* Rio Maule en Armerillo - Pre-Cordillera

Eventos extremos (tormentas de invierno intensa) conservan su magnitud, pero aumento de área aportante contribuye a mayores crecidas



Diferencia T_{2m} (2100-2070) – (1960-1990)

Obtained with a regional climate model (PRECIS) forced by Echam4 / A2

B2-LB

A2-LB

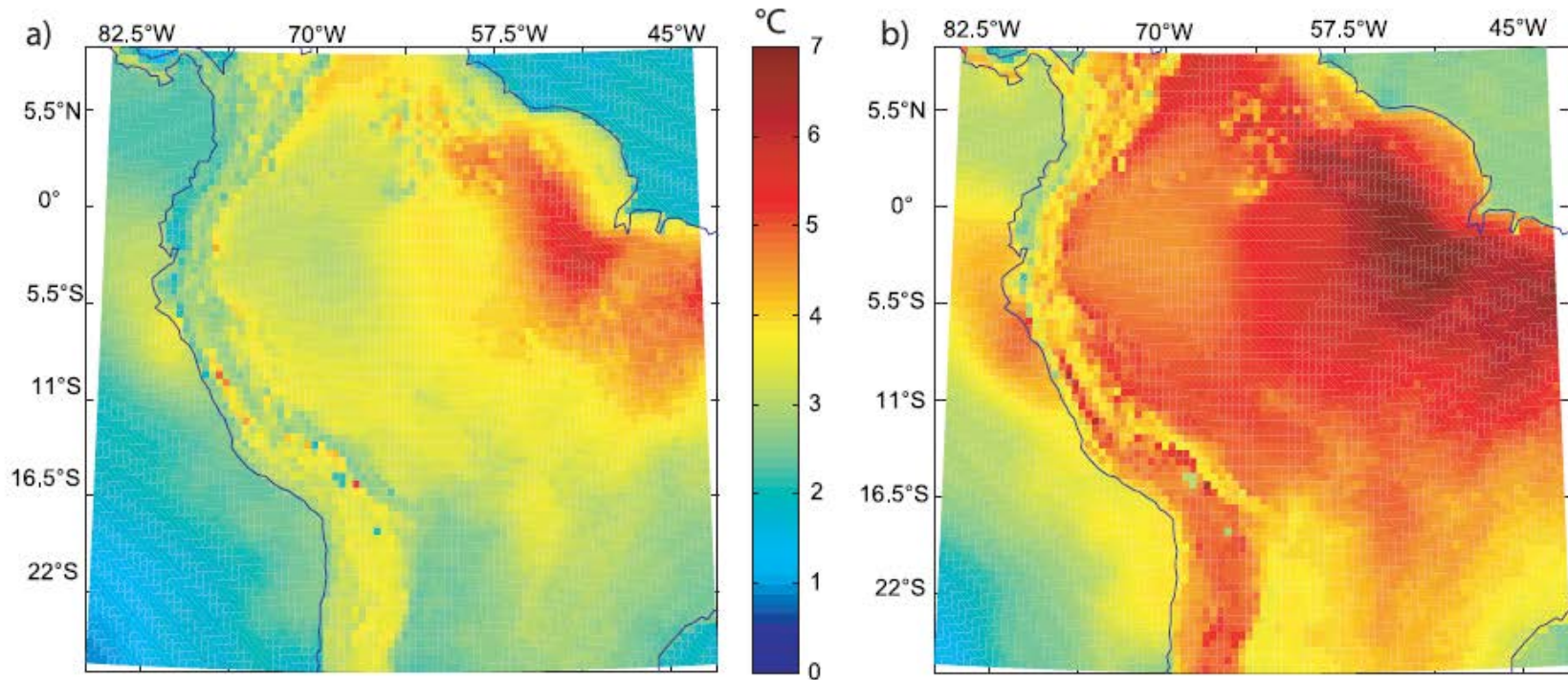
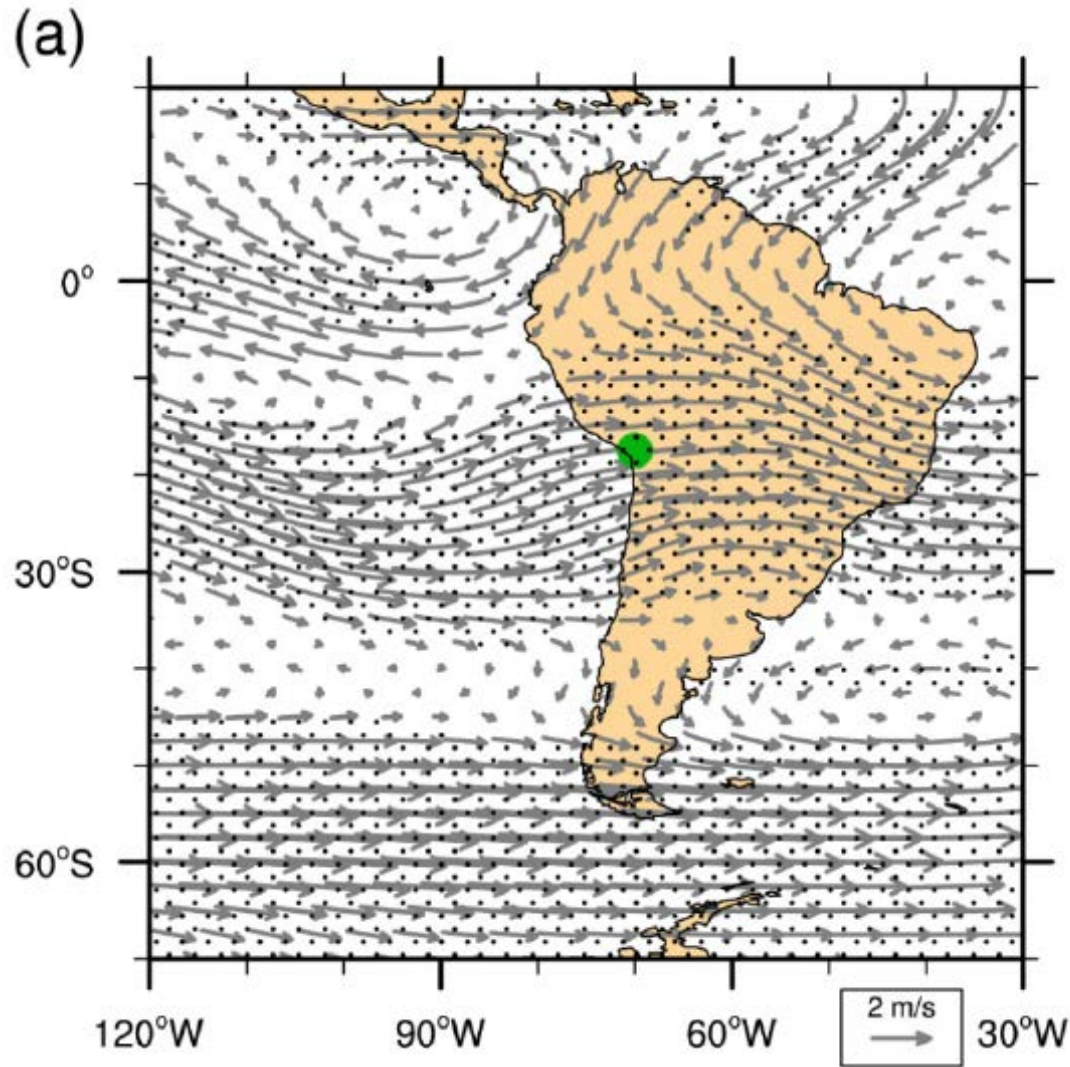


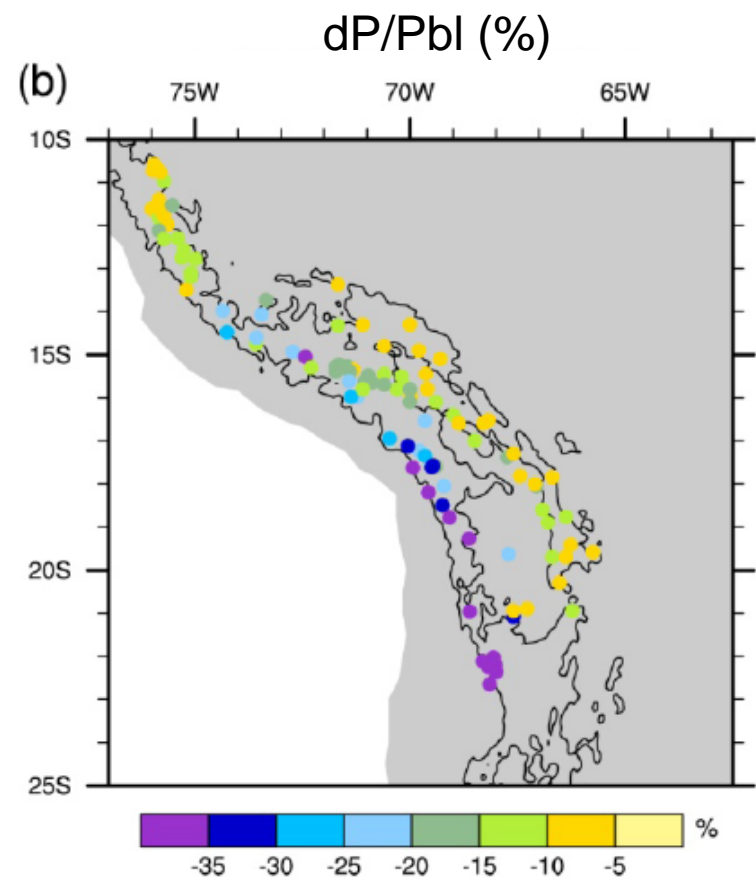
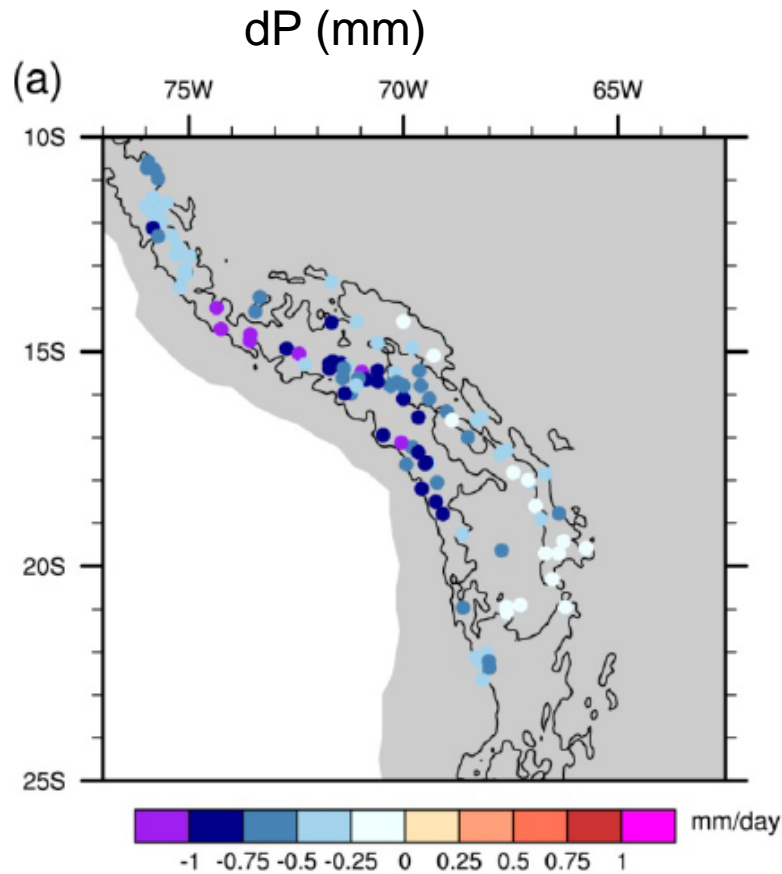
Figure 5. (a) Difference in mean annual surface temperature (in °C) between RCM-B2 and RCM-20C. (b) Same as in Figure 5a but for RCM-A2. Differences are statistically significant at the 95% level everywhere.

Cambios de Circulación A2- BL



Multimodel mean diff. A2-BL
in 200 hPa wind, summer

Cambios de Precipitación esperables por cambio de viento

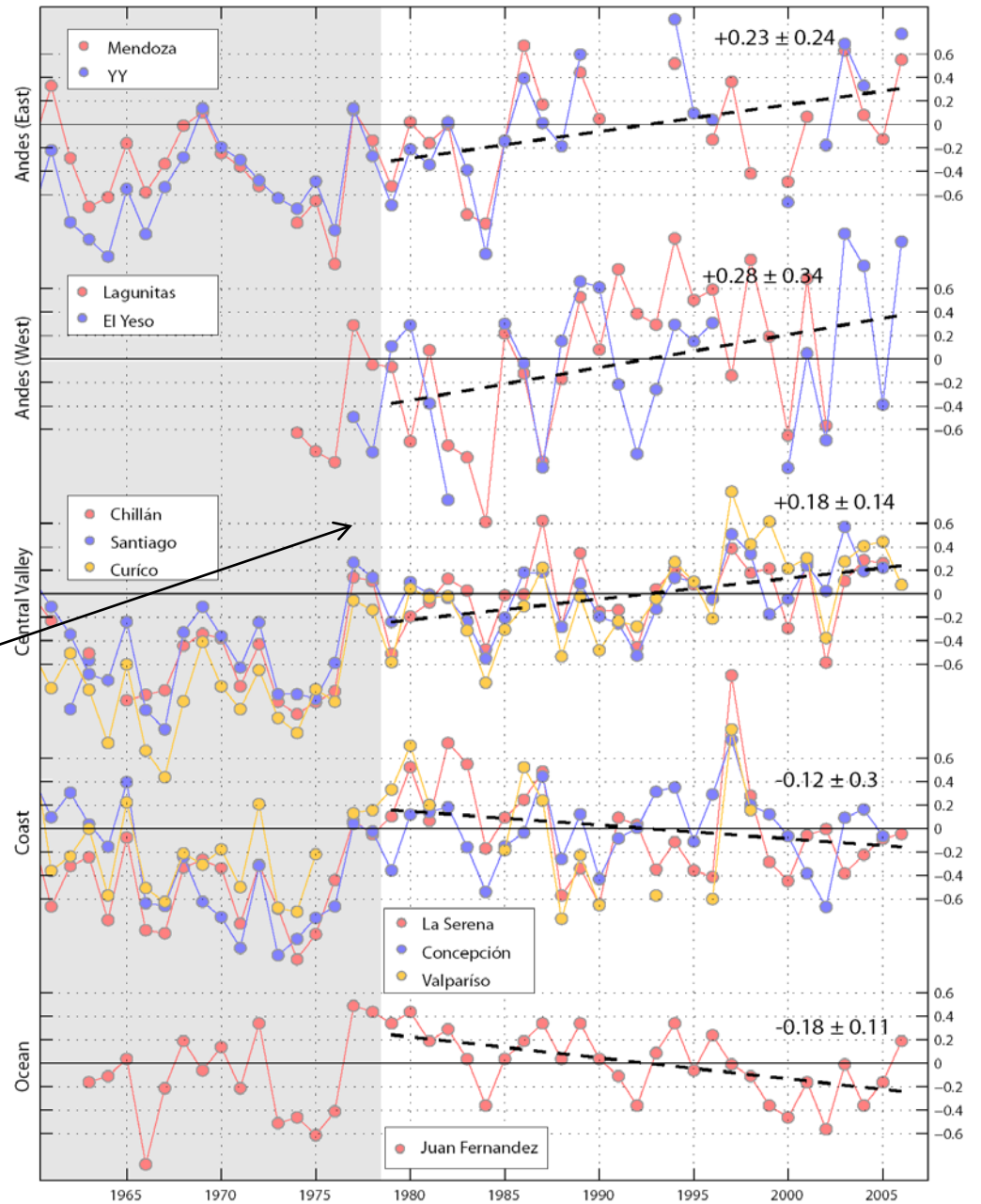


Incertidumbre en nuestras proyecciones

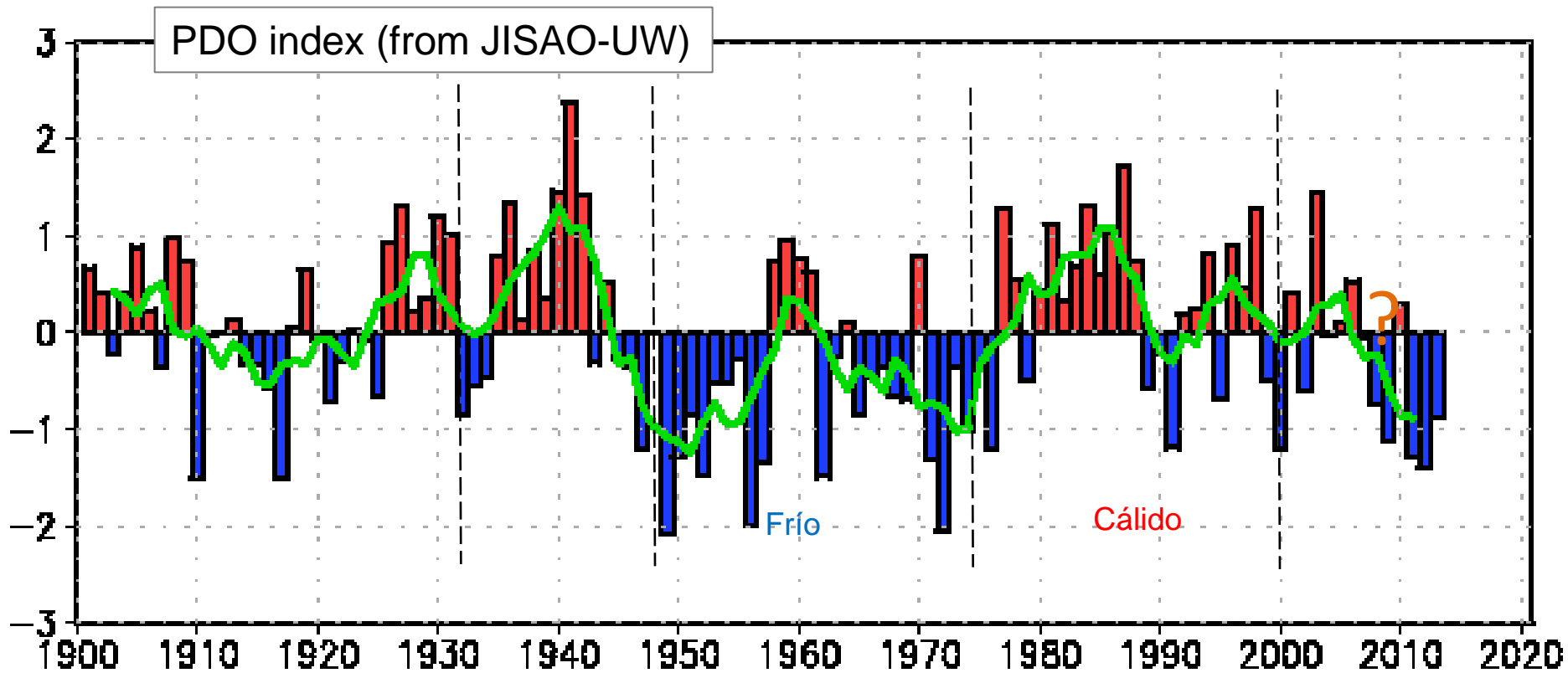
1. Incorrecta representación de variabilidad interna: ENSO + PDO
2. Incertidumbre en la respuesta al forzamiento radiativo
3. Incertidumbre en escenarios de emisiones GEI
4. Incertidumbre en modelos de impacto
5. Incertidumbre en otros forzantes (estresores)

Asociados a modelación climática

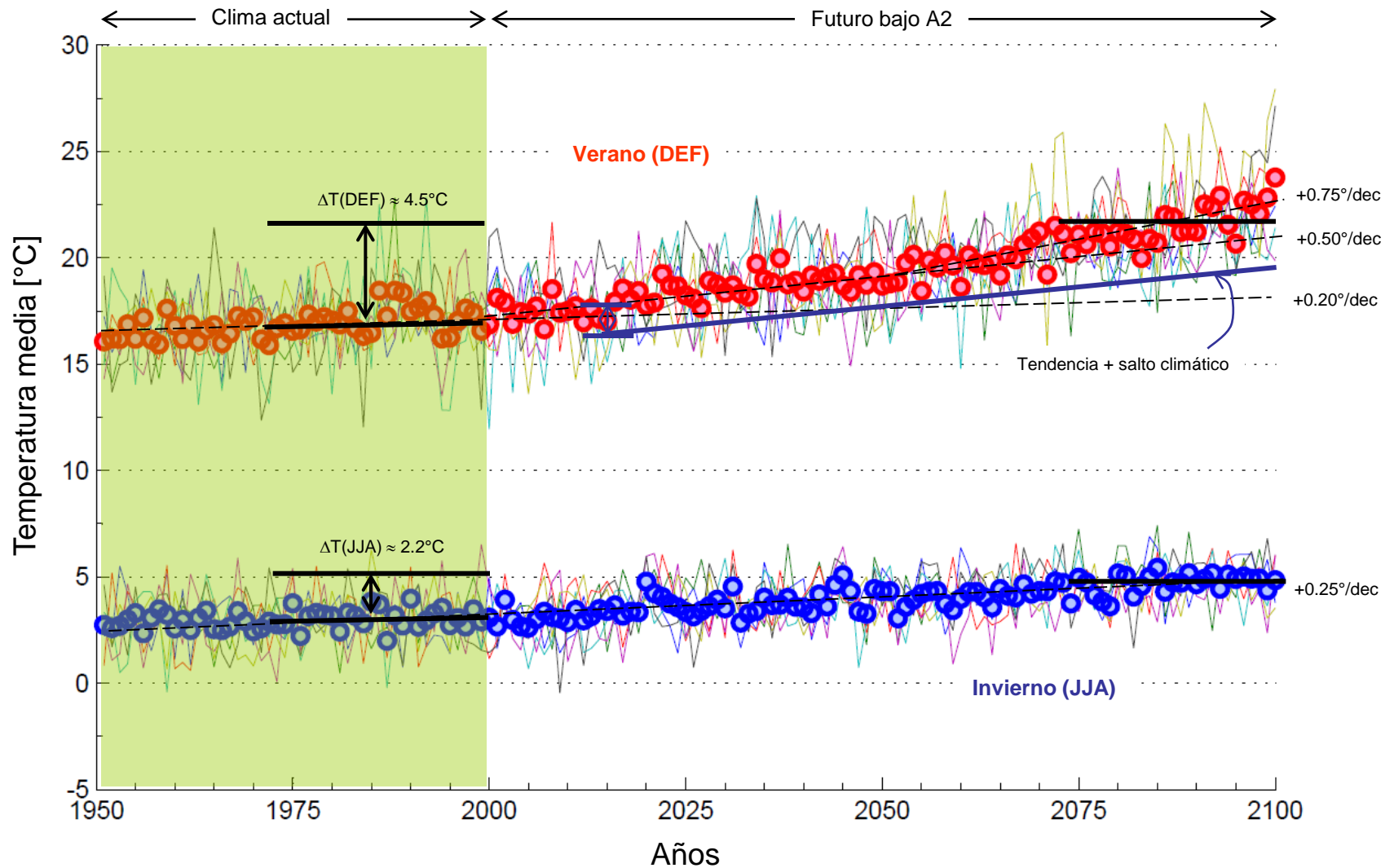
Salto Climático asociado a cambio de polaridad de la PDO

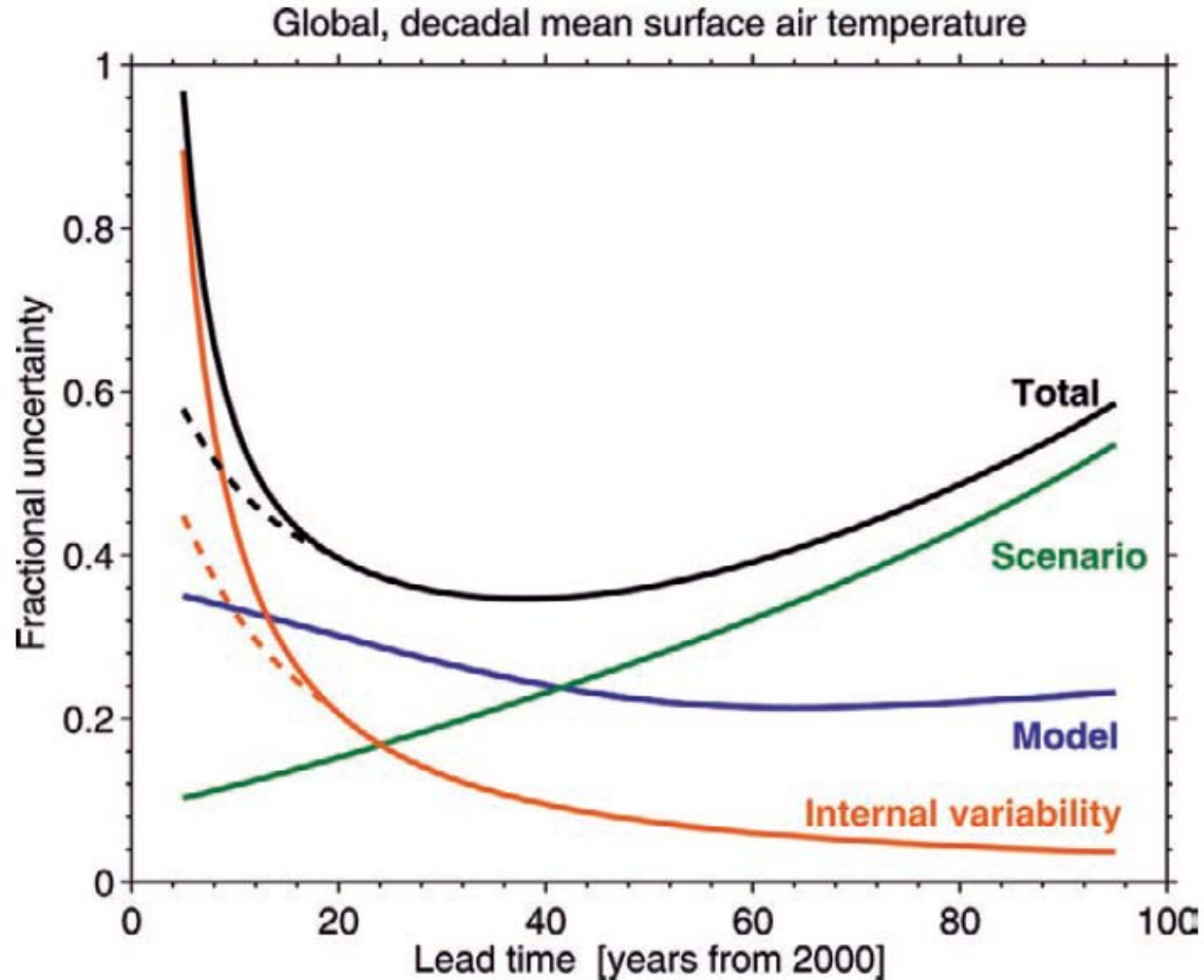


Un actor clave en la variabilidad interna del planeta es la **Oscilación Décadal del Pacífico (PDO)**, un fenómeno con expresiones climáticas similares a ENOS pero de mayor duración.



Proyecciones para Chile central





Fractional uncertainty = signal/noise = ensemble mean / ensemble spread

Warning: uncertainty is not obviously related to accuracy.

Adaptación Robusta: Enfaticé vulnerabilidad actual y escoja estrategias que sean resistentes a un cambio climático que es aun incierto....

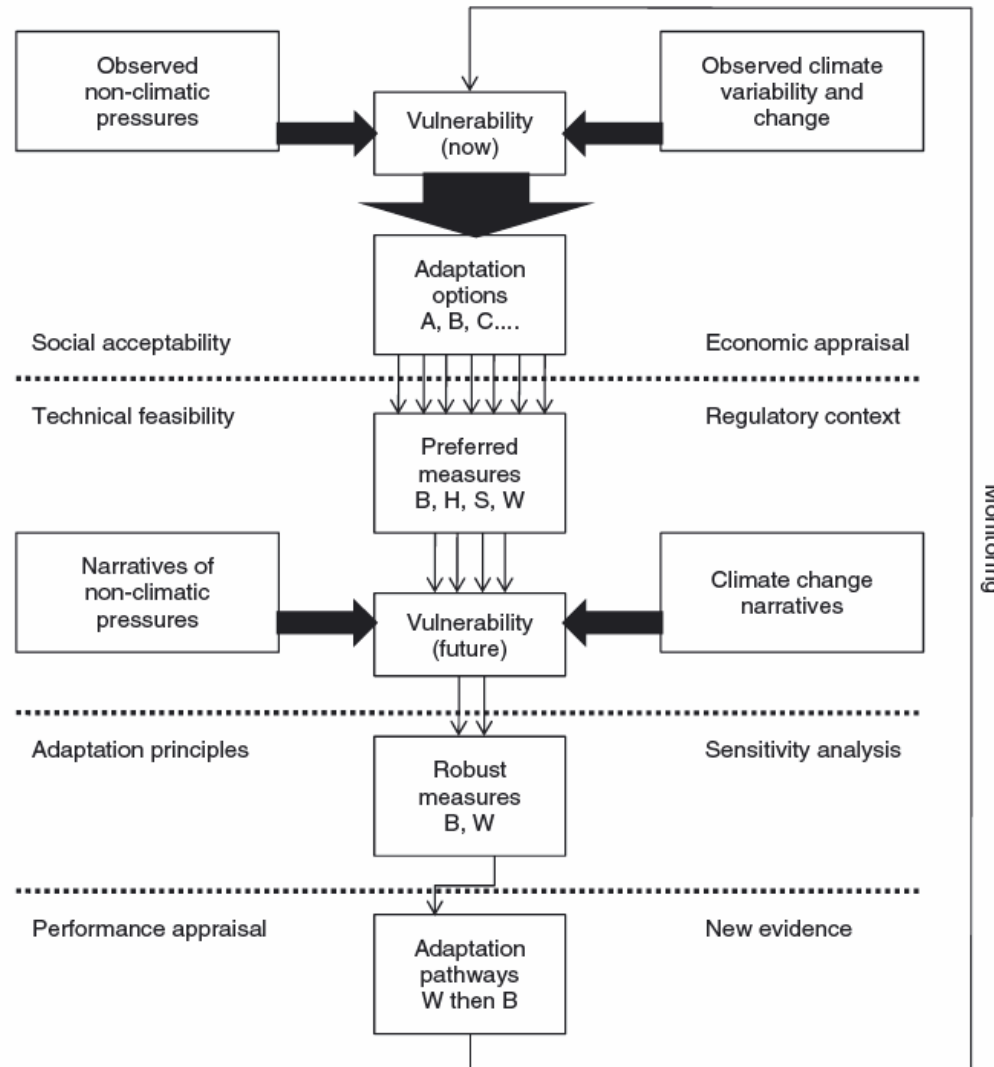


Figure 3. Conceptual framework for a scenario-neutral approach to adaptation planning.

Conclusiones

- Existen manifestaciones del cambio climático asociado a los GI en las últimas décadas a nivel global y local.
- Cambios proyectados son en algunos casos similares en magnitud y signo a los cambios observados en las últimas décadas (aumento de temperatura en el interior y cordillera, tendencia a la sequia).
- Incertidumbre en las proyecciones climáticas es importante y debe ser considerada en estrategias de adaptación.