

Nuestro Clima Cambiante: Observaciones, Proyecciones e Incertidumbres

René D. Garreaud

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

Santiago, Julio 2017

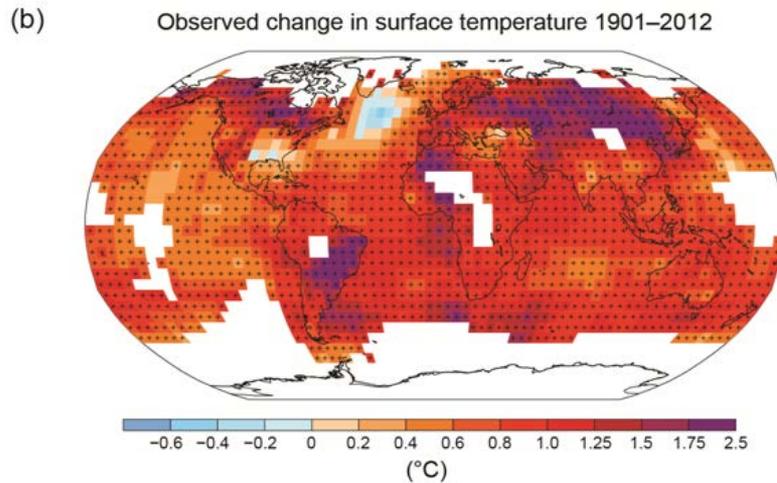
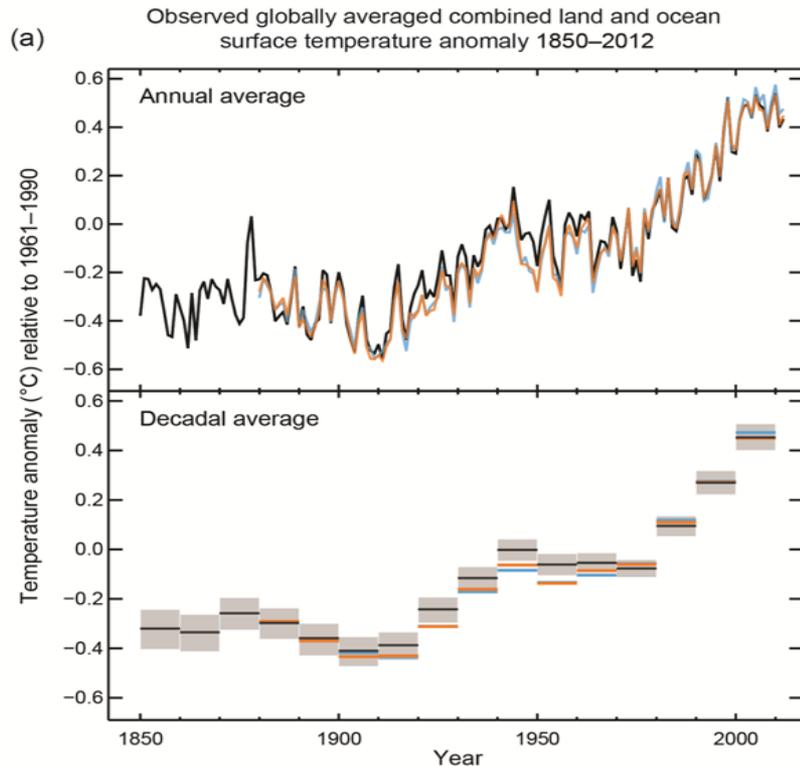
Temario

1. Evidencia del cambio y atribución

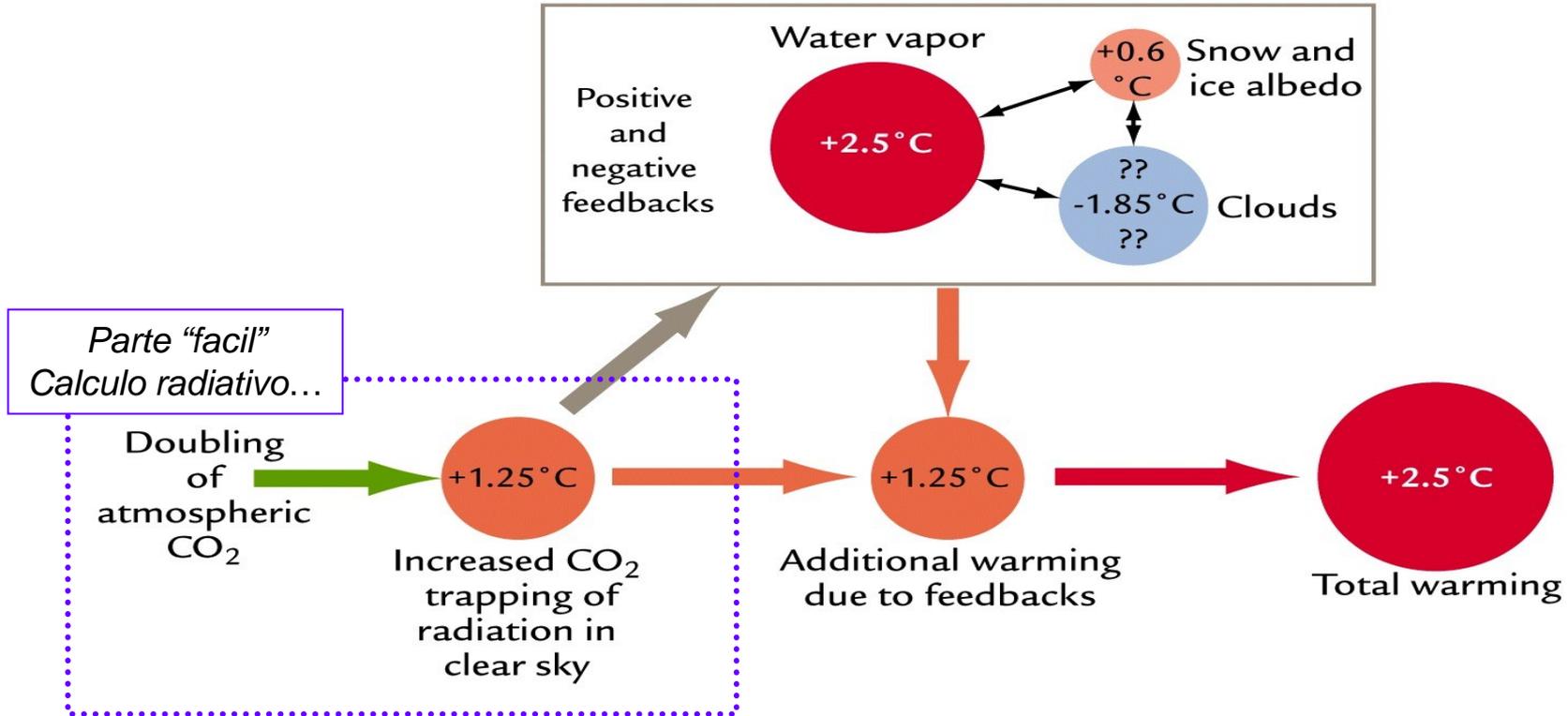
2. Proyecciones basadas en Modelos

3. Incertidumbre y adaptación

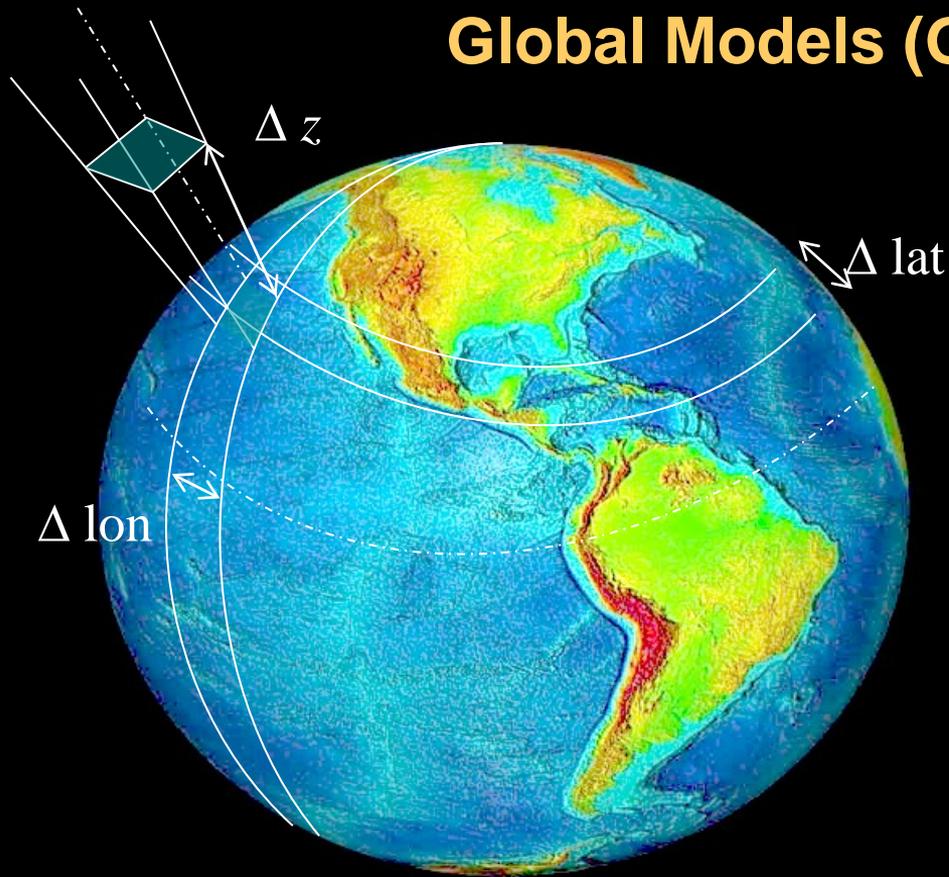
Cambios observados en Temperatura Superficial



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



Global Models (GCM)



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

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

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

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

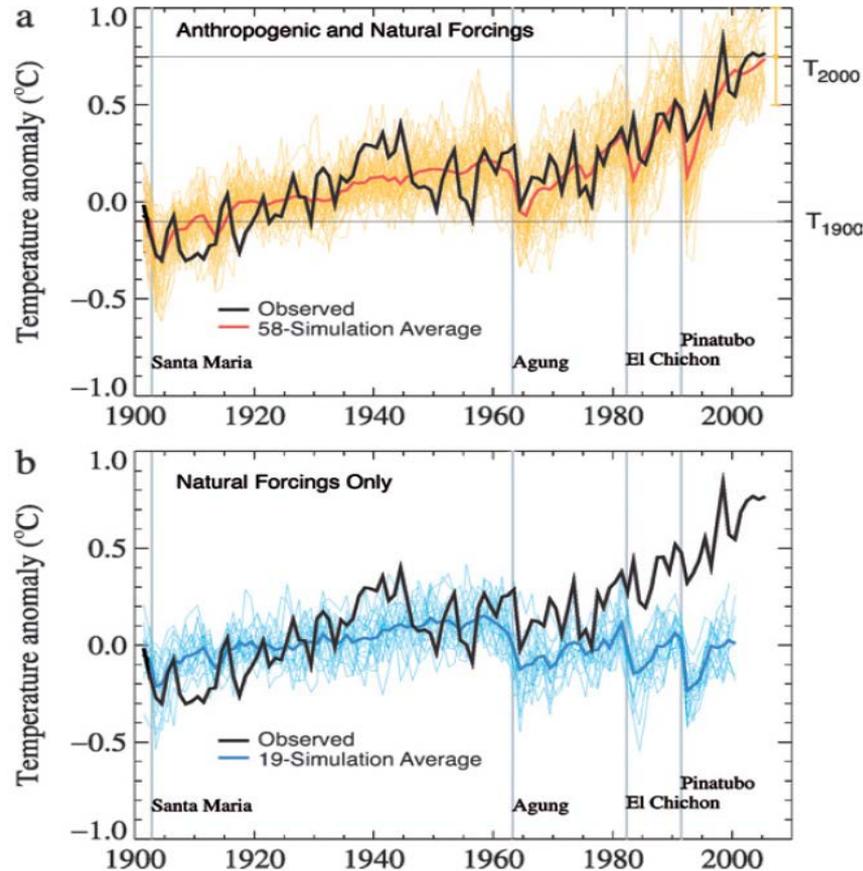
$\Delta lat \sim \Delta lon \sim 1^\circ - 3^\circ$

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

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

Top of atmosphere: 15-50 km

Cambios observados y simulados en Tsfc

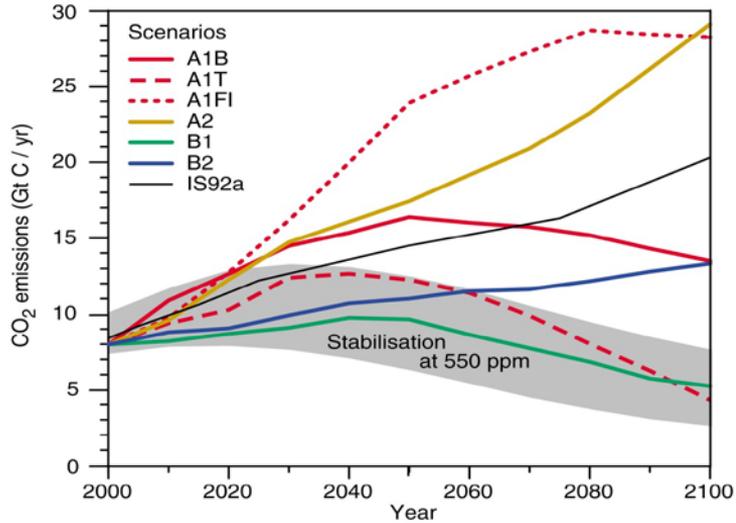




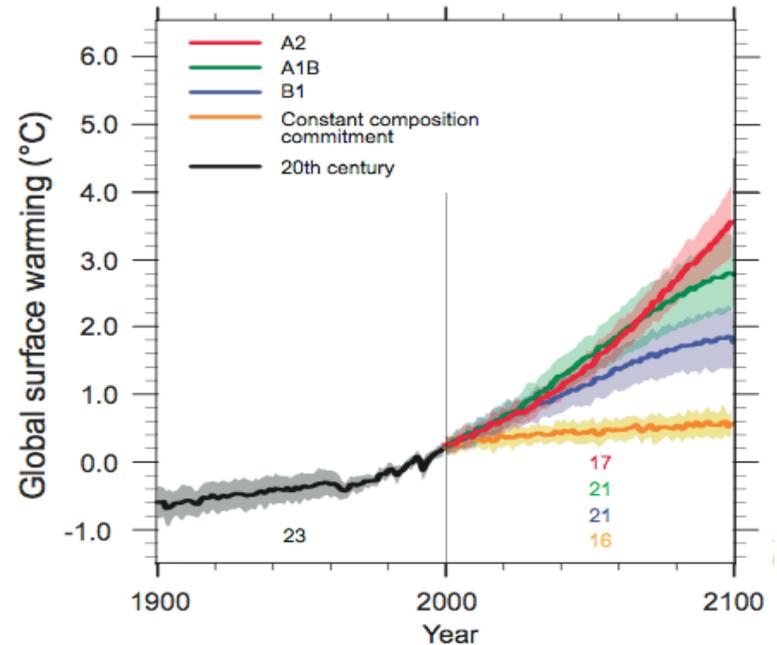
*And
What
Next...*

Escenarios climáticos futuros

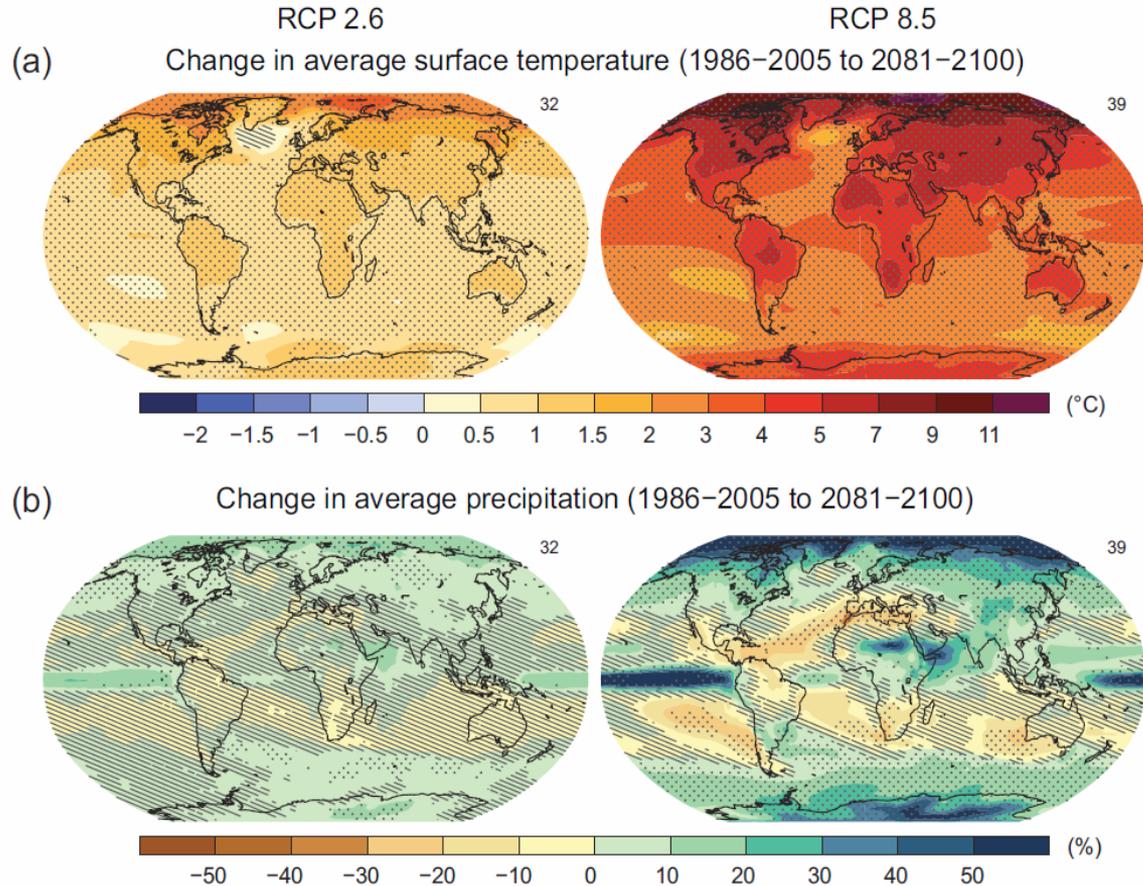
GHG (CO₂,...) emissions projections + GCMs



20+ GCMs
CMIP3/IPCC AR4

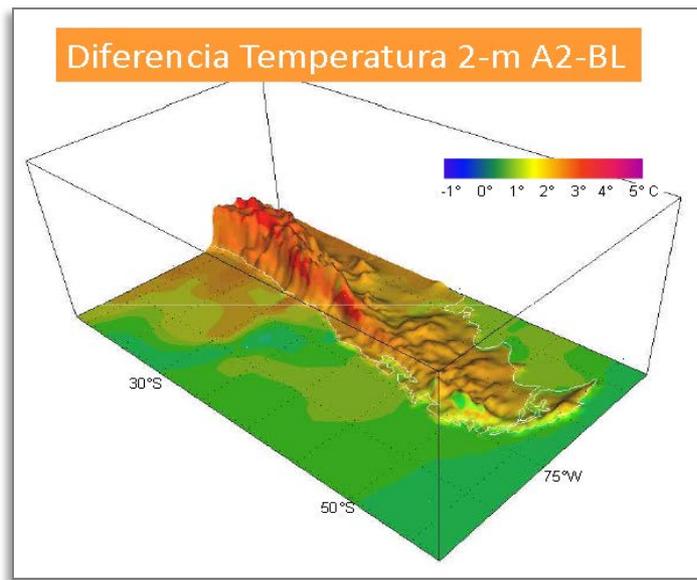
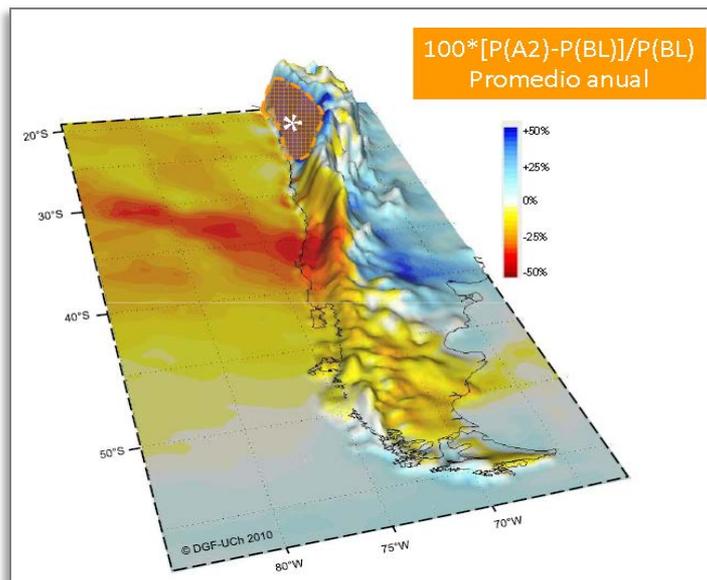


Un (possible) futuro.....



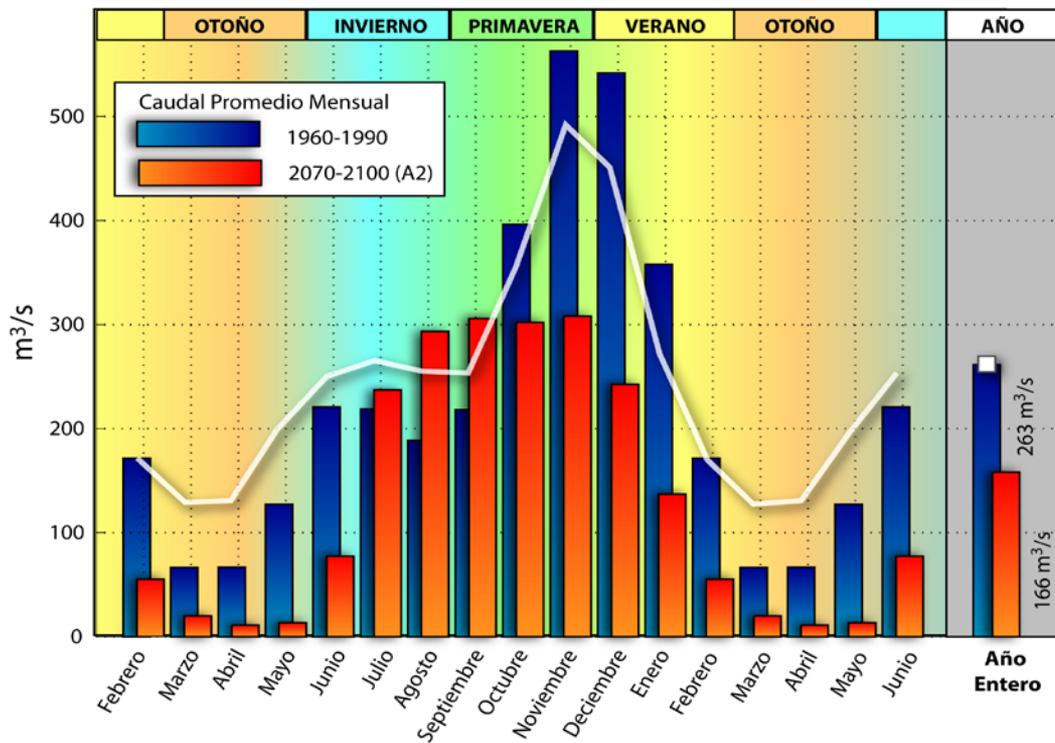
Impactos Regionales del Cambio Climático

- Aumento de temperatura 1-2°C (*)
 - Disminución de precipitación 15-25% (*)
- (*) Proyección a fin de siglo bajo escenario A2

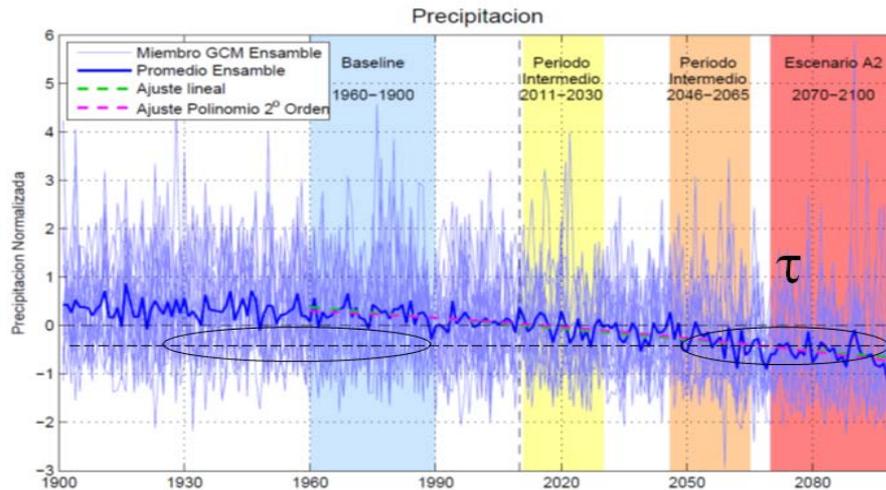
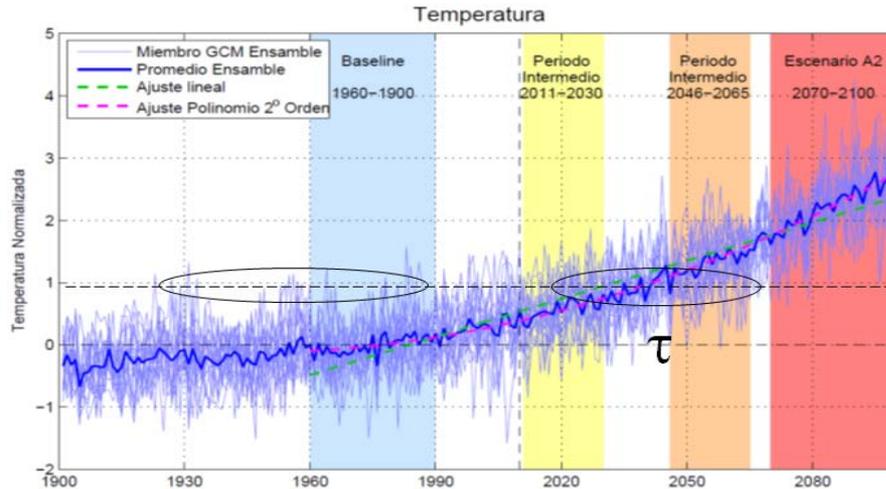


Impactos Regionales del Cambio Climático

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



* Rio Maule en Armerillo - Pre-Cordillera



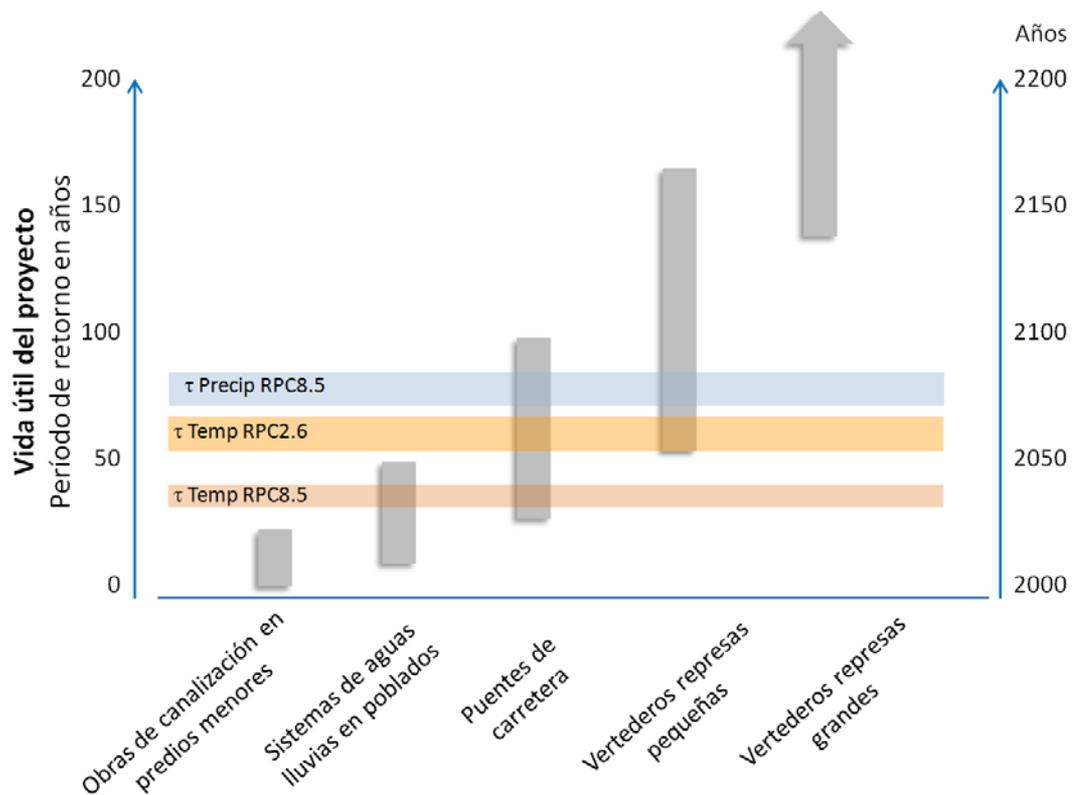
Proyecciones de TAS y Precip.
para Chile central en base a
ensemble multi-modelo CMIP3
Escenario A2

Time of Emergence (τ):
Período en el cual la condición
promedio se supera la condición
extrema actual.

Depende del lugar, variable y
escenario climático...

A quienes afecta el cambio climático?

Time of emergence y Horizonte de la actividad



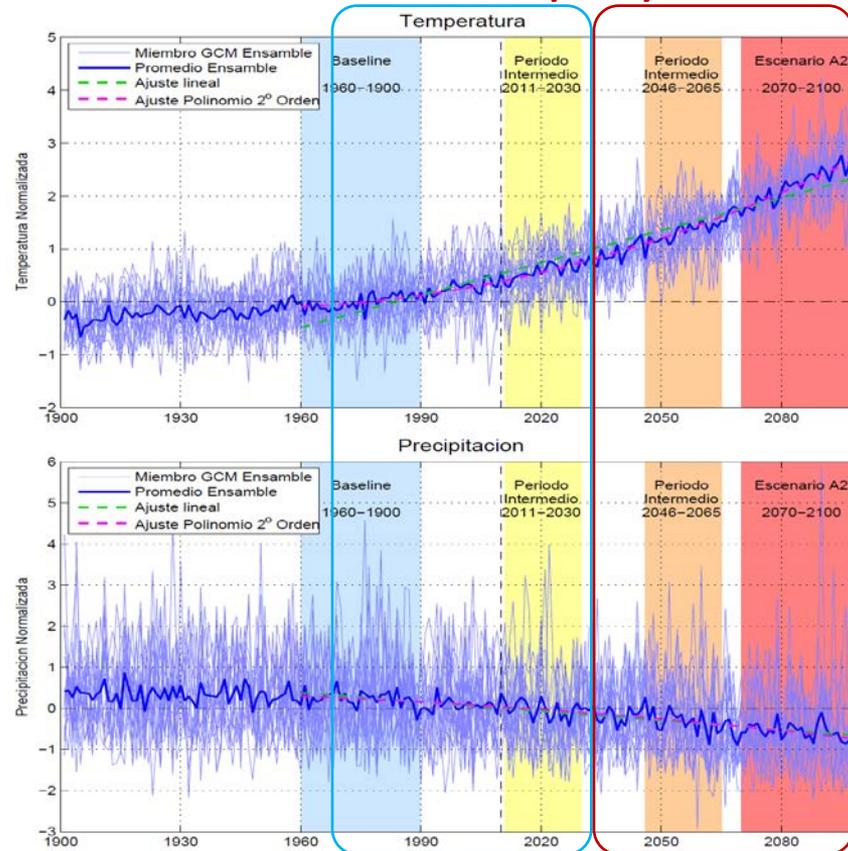
La Letra Chica



¿Reproducen los modelos las tendencias locales recientes?

¿Cuan informativas son nuestras proyecciones climáticas?

Proyecciones de
Temperatura y
precipitación para
Chile central en base
a ensemble multi-
modelo CMIP3

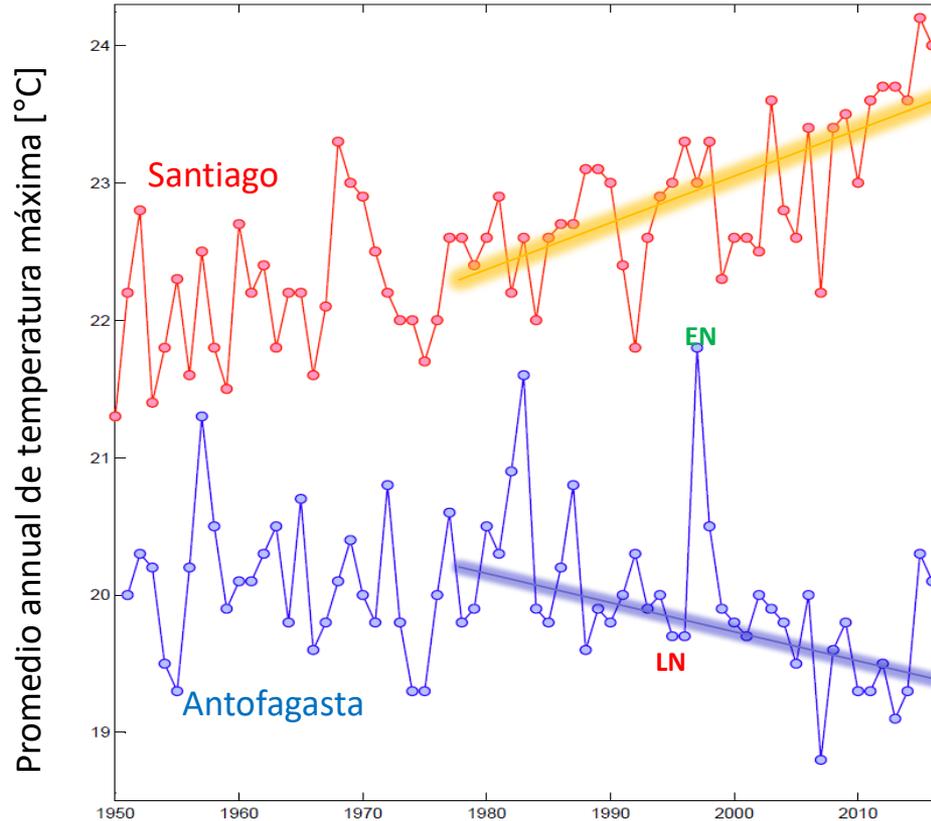


Progresivo
aumento de
temperatura

Progresiva
disminución de
precipitación y
caudales

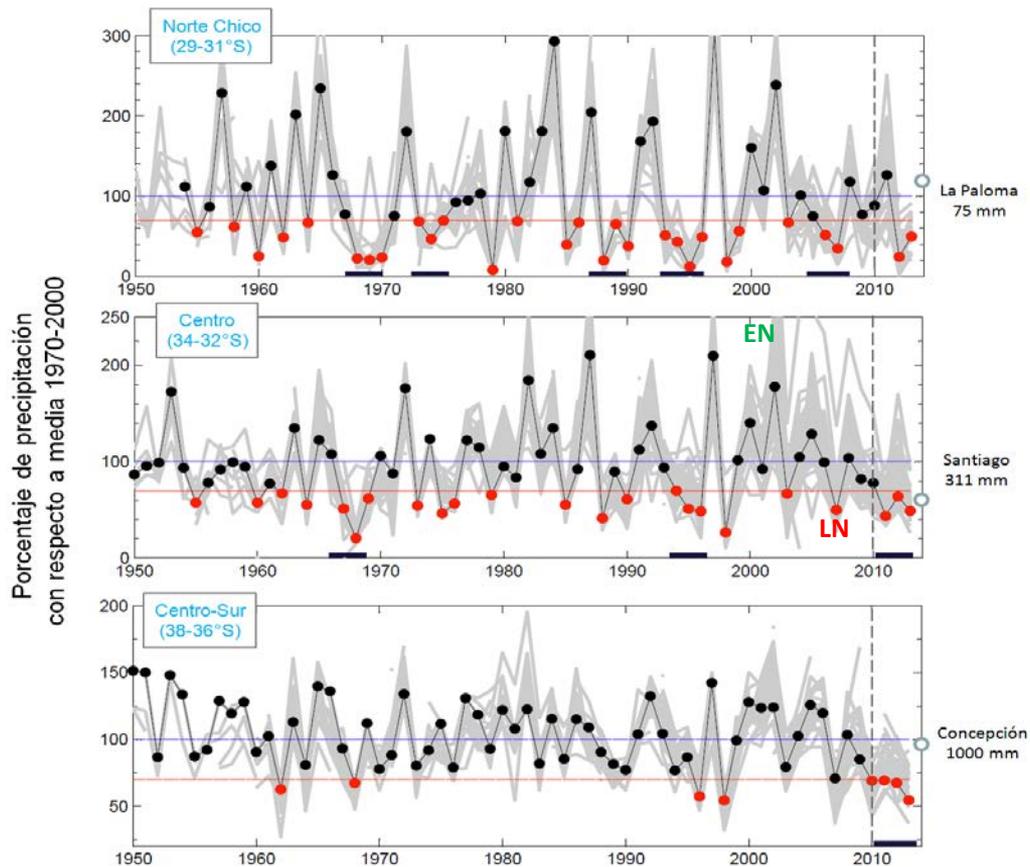
Nuestro clima cambiante

Variabilidad interanual/decadal + Saltos Climáticos + Tendencia



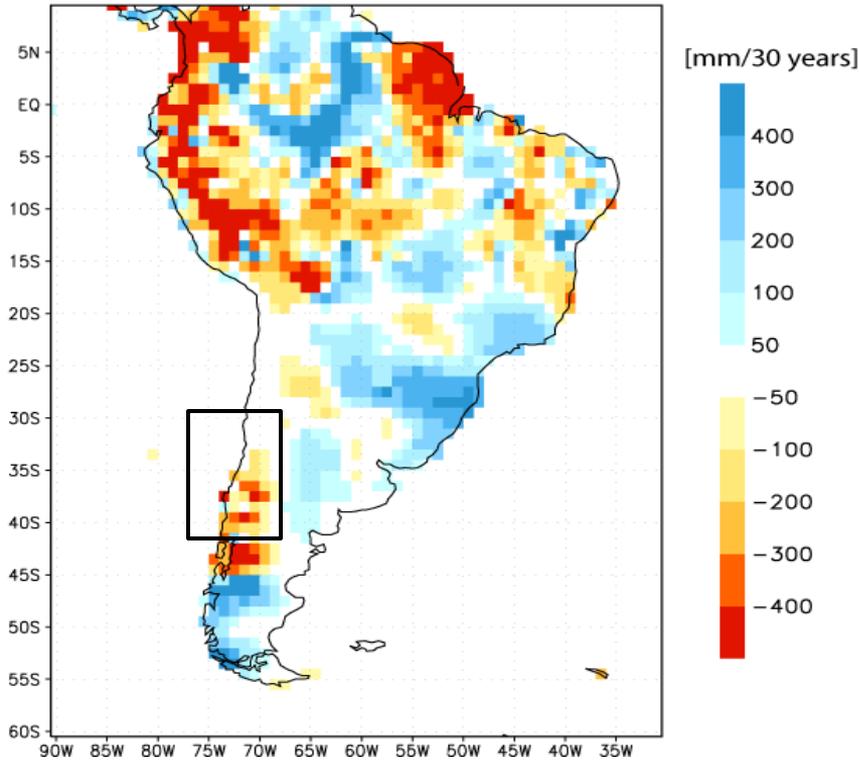
Nuestro clima cambiante

Variabilidad interanual/decadal + Saltos Climáticos + Tendencia



Tendencias observadas de precipitación anual

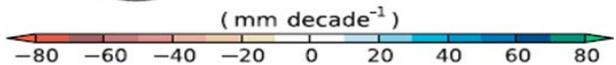
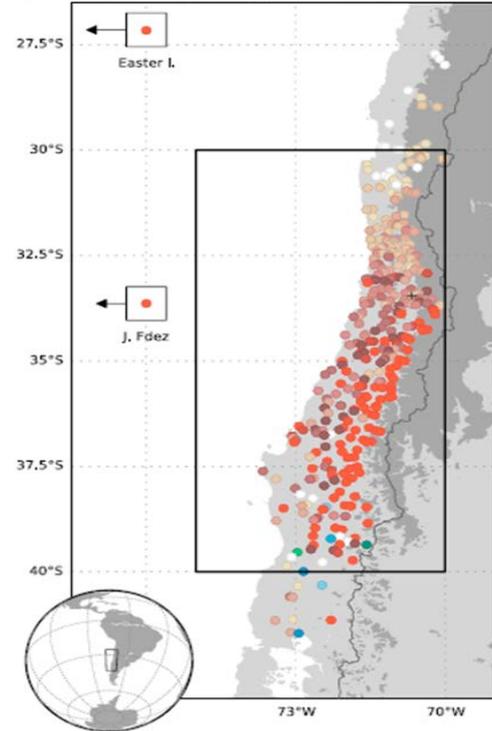
1960-2005



Garreaud 2011

1979-2014

a Annual precip. trend 1979-2014



Boisier et al. 2016

Nuestro clima cambiante

1. Variabilidad interanual (año-a-año): ENSO

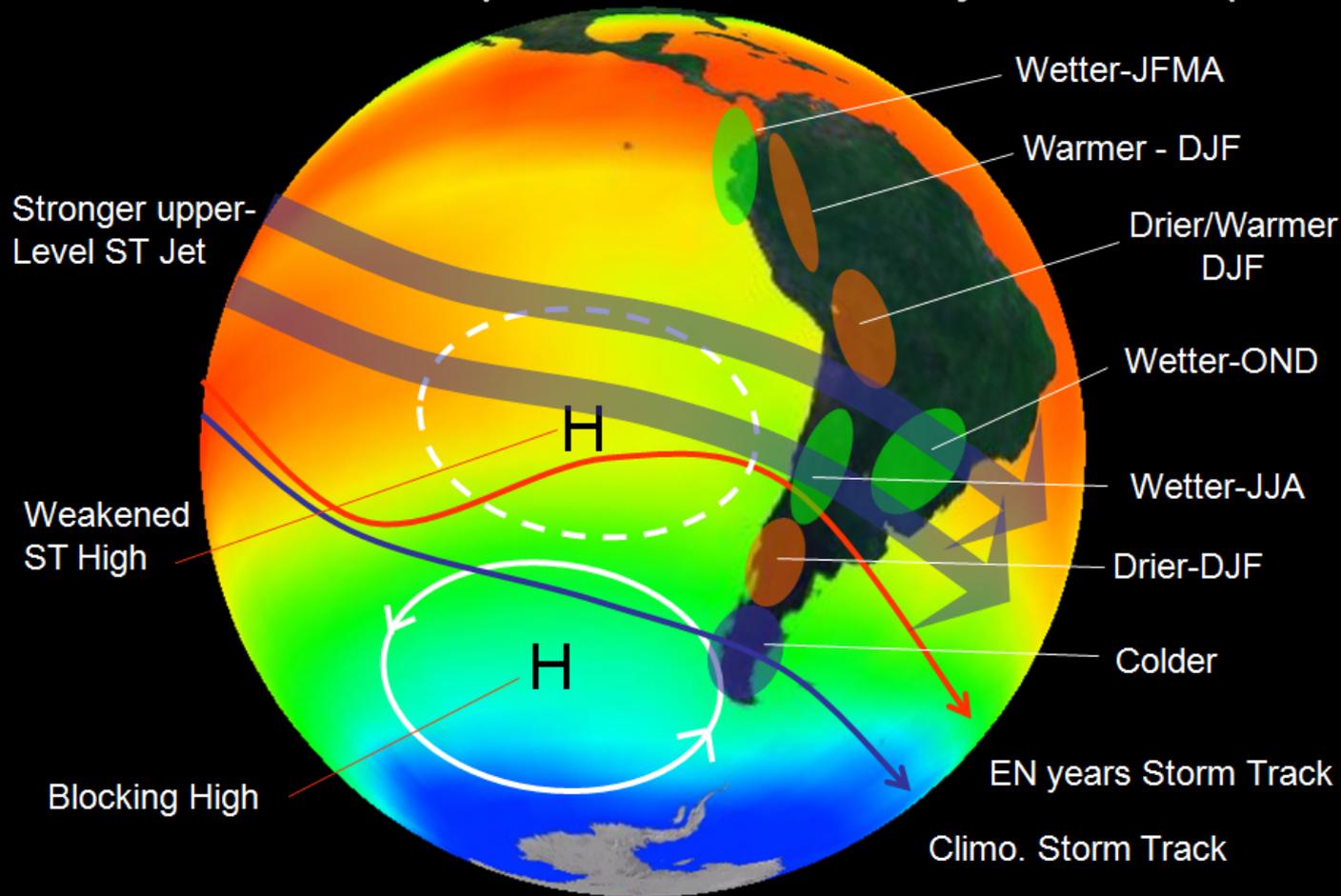
2. Variabilidad inter-decadal: PDO

3. Tendencias de largo plazo: GEI + O3

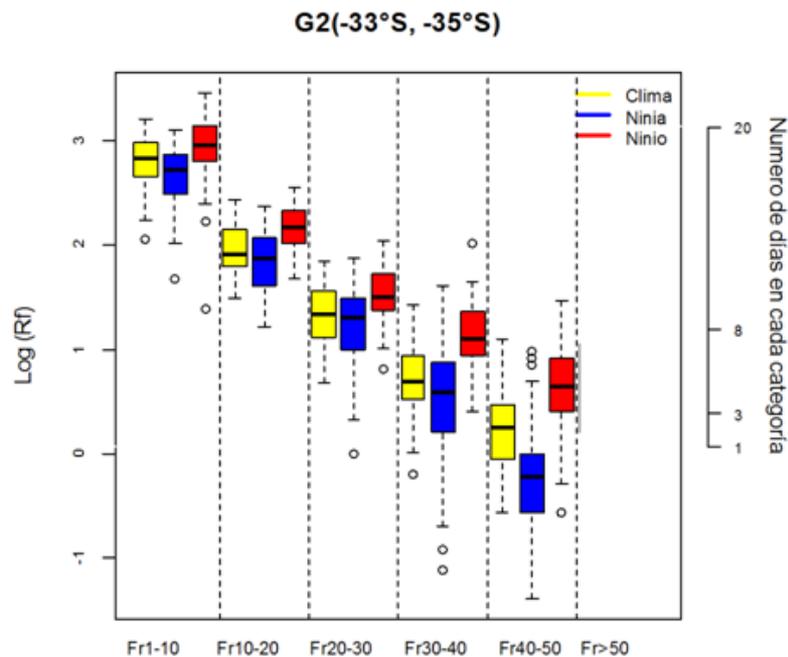
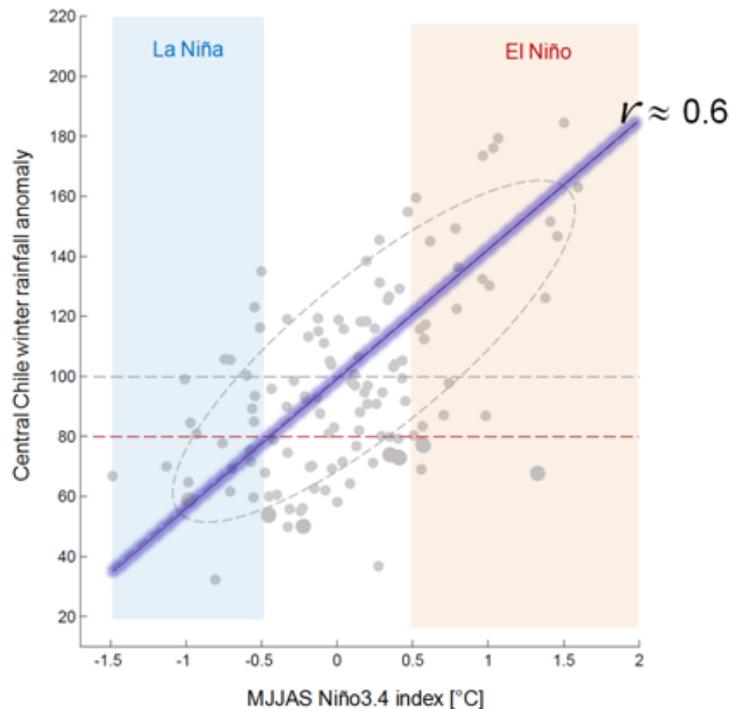
Interannual variability

-

Major ENSO impacts

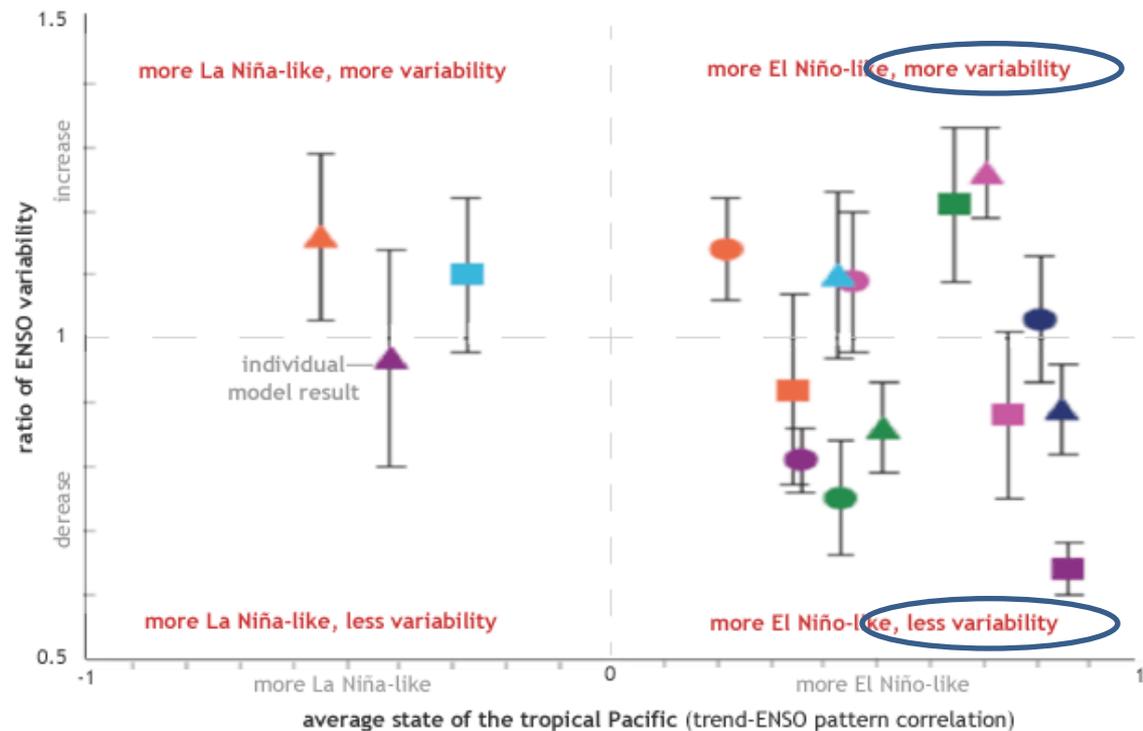


Impactos de ENOS en precipitación de Chile central

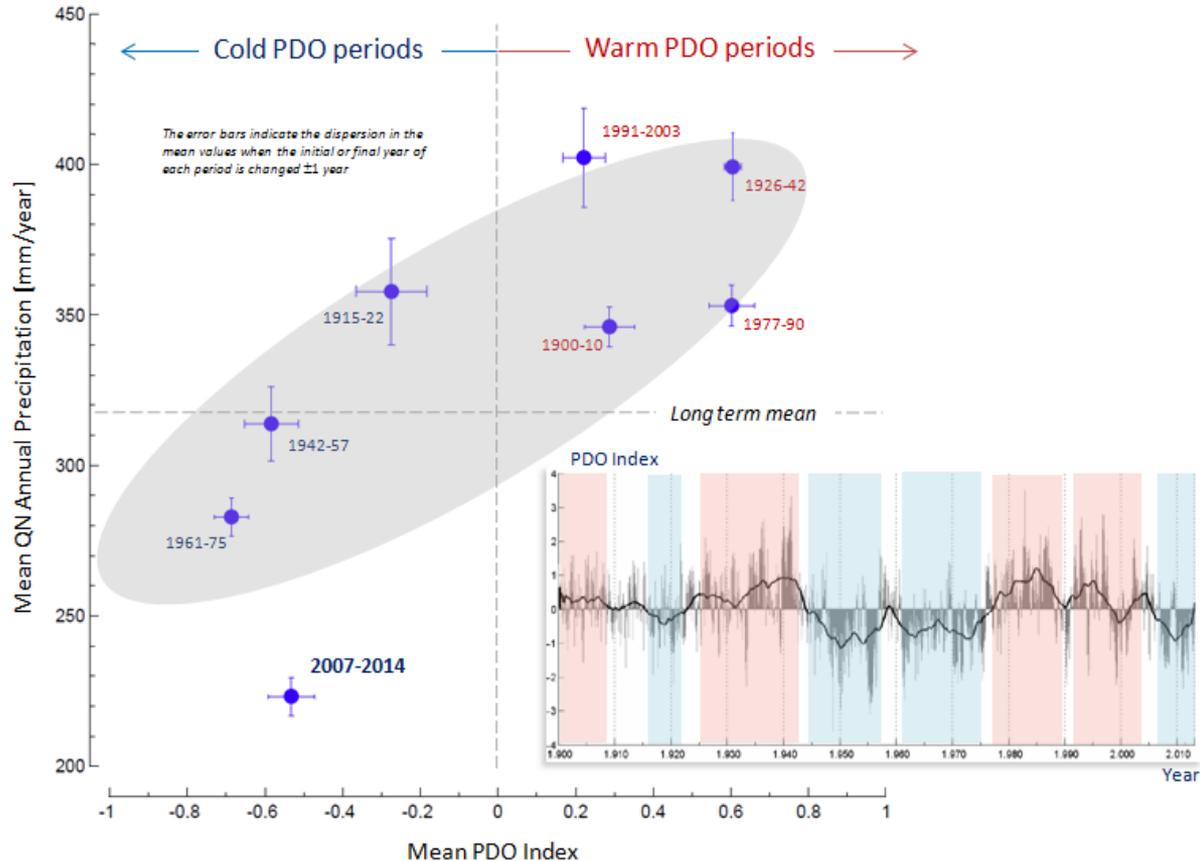


ENSO en el Futuro ????

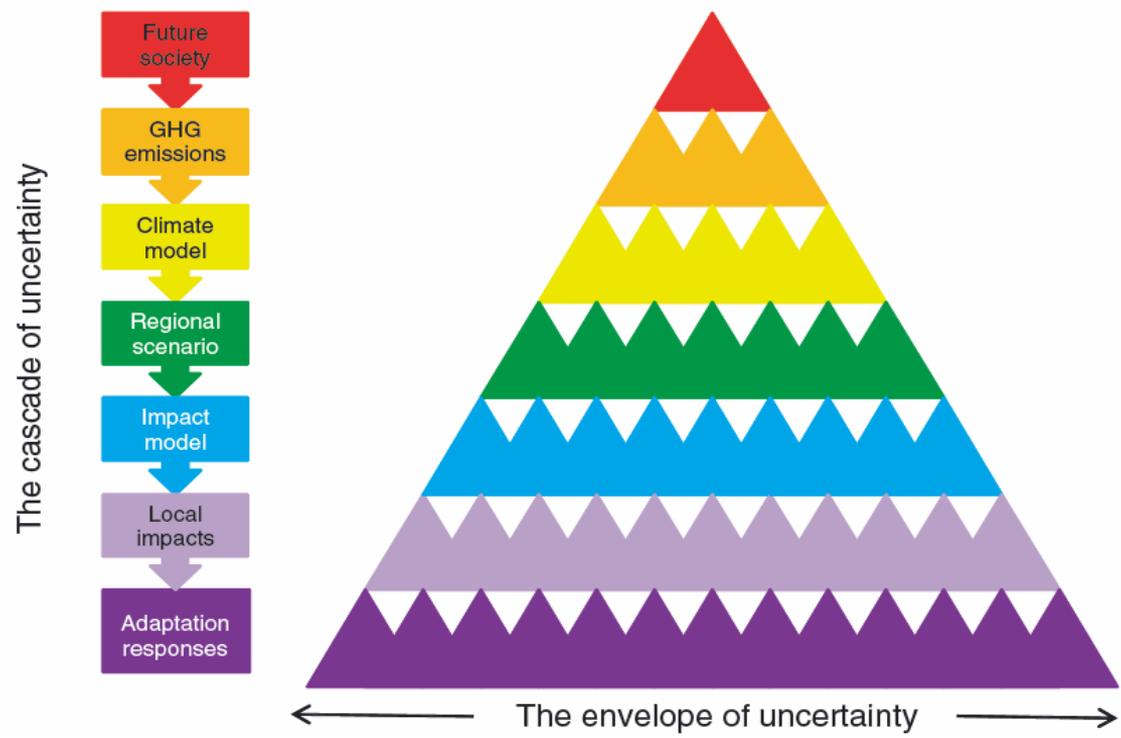
Model predictions of future average conditions in tropical Pacific and ENSO variability

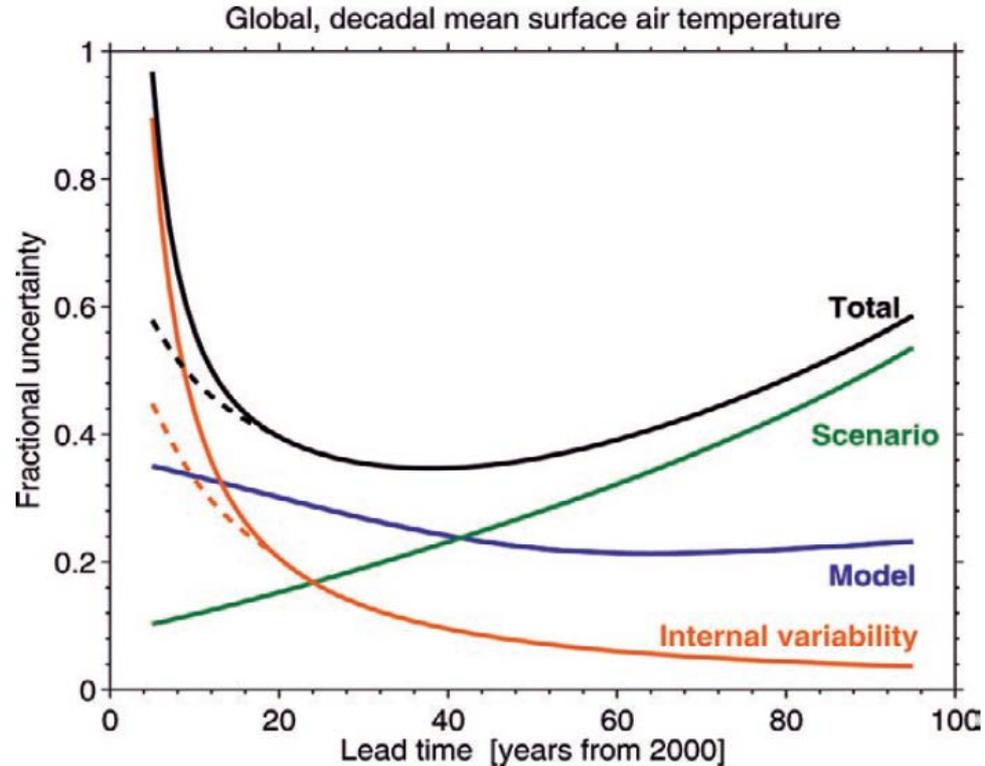


La PDO y precipitación...



Adicionalmente a la **falta de predictabilidad de variabilidad natural**, nuestras **proyecciones** son inherentemente **inciertas**





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

Warning: uncertainty is not obviously related to accuracy.

Ejemplo de incertidumbre en nuestras proyecciones de variables promedio

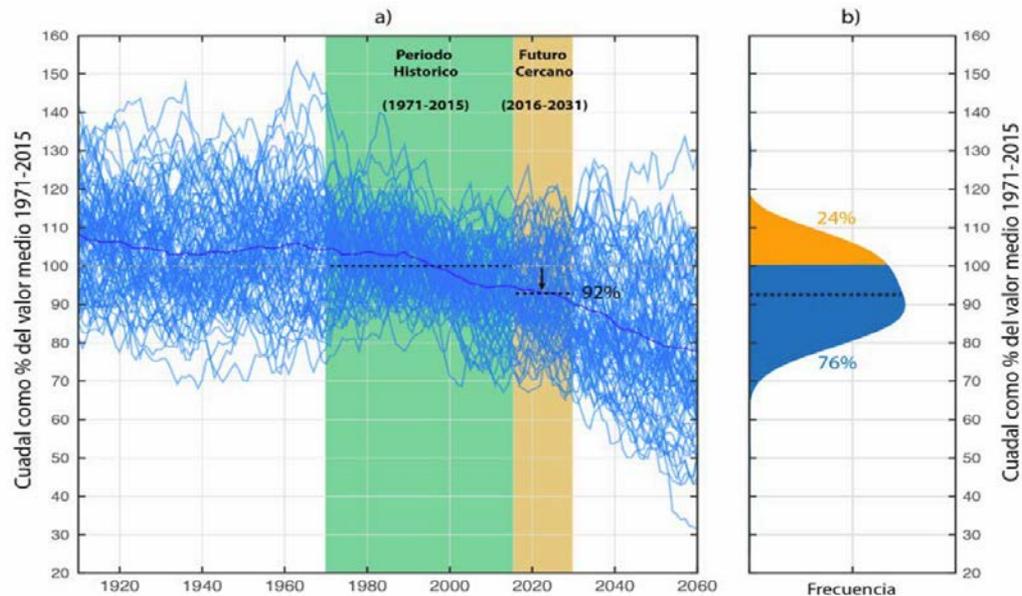
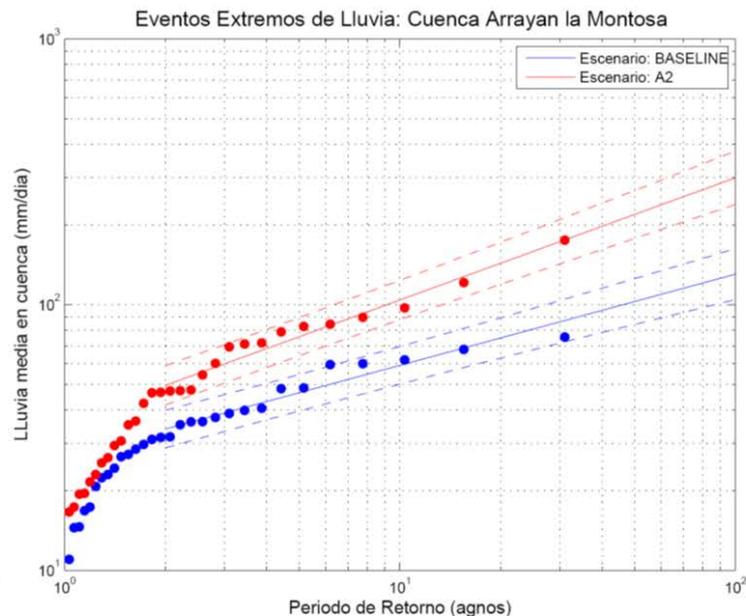
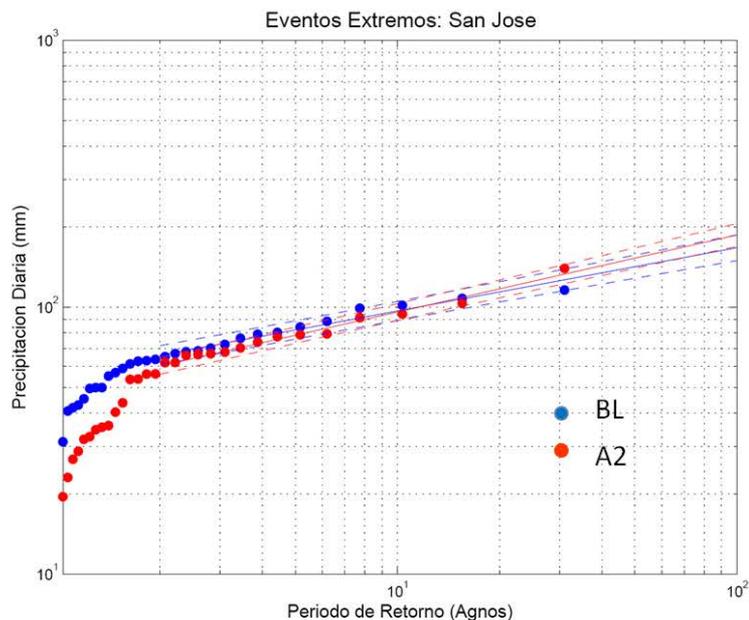


Figura 6.1 a) Series de tiempo del caudal medio anual en Maipo en el Manzano simulado por el modelo hidrológico para el periodo 1910 a 2060. Cada serie de tiempo representa el resultado de uno de los 99 simulaciones realizadas con el ensemble de GCMs. A las series anuales se ha aplicado un filtro de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

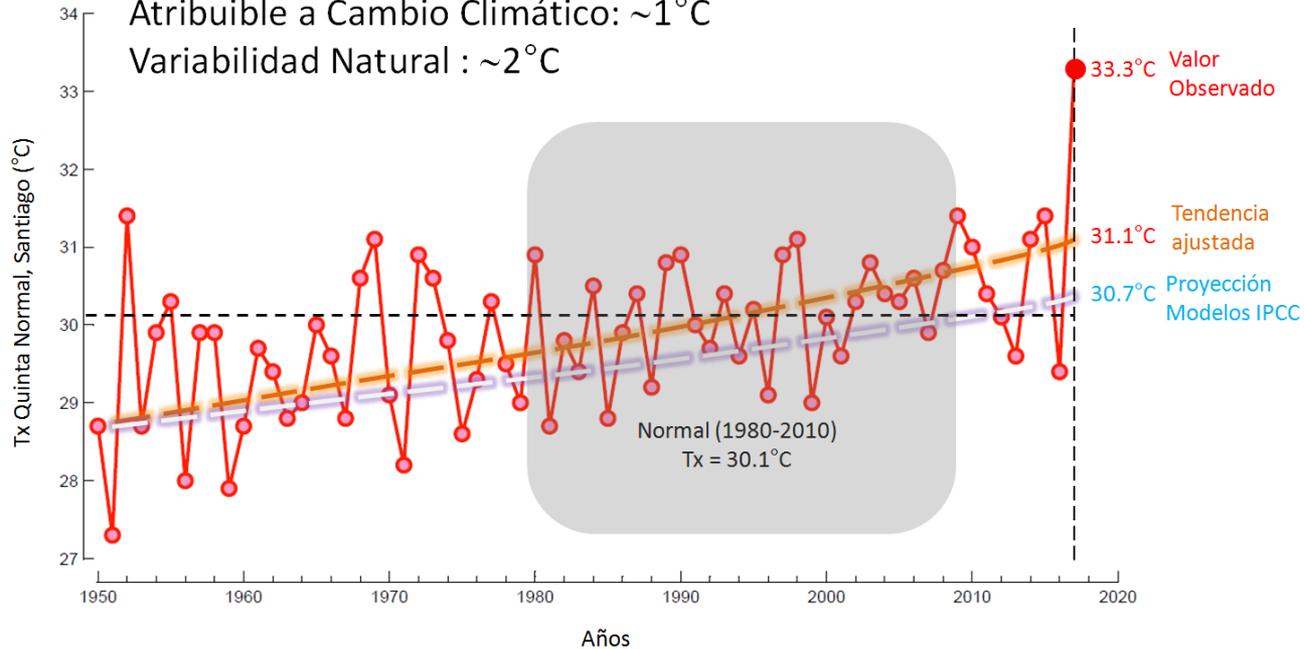
Proyección de eventos extremos (combinación de ingredientes) es aun mas incierta que condiciones medias...y en verdad aun no podemos cuantificar su cambio en el futuro



El ardiente verano 2017



TMax Stgo. Enero 2017: 33.1°C
 Aumento por encima de la normal: +3°C
 Atribuible a Cambio Climático: ~1°C
 Variabilidad Natural : ~2°C



Adaptación Robusta

Enfatice vulnerabilidad actual y escoja estrategias que sean resistentes a un cambio climático que es aun incierto....

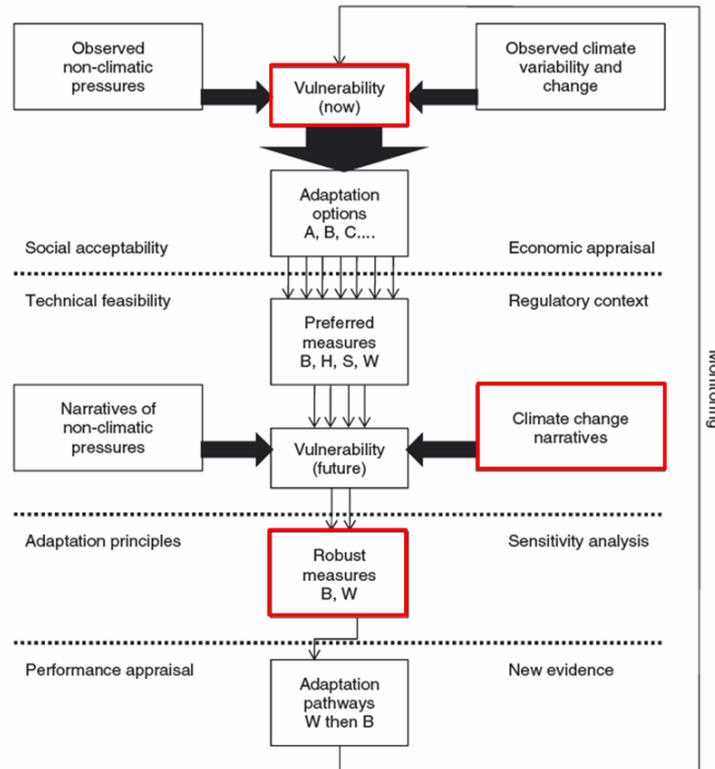


Figure 3. Conceptual framework for a scenario-neutral approach to adaptation planning.

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.
- En el corto y mediano plazo (1-20 años) modos naturales (ENSO + PDO) son los principales factores de alteraciones climáticas
- Incertidumbre en las proyecciones climáticas es importante y debe ser considerada en estrategias de adaptación.