

# Cambio climático en Patagonia



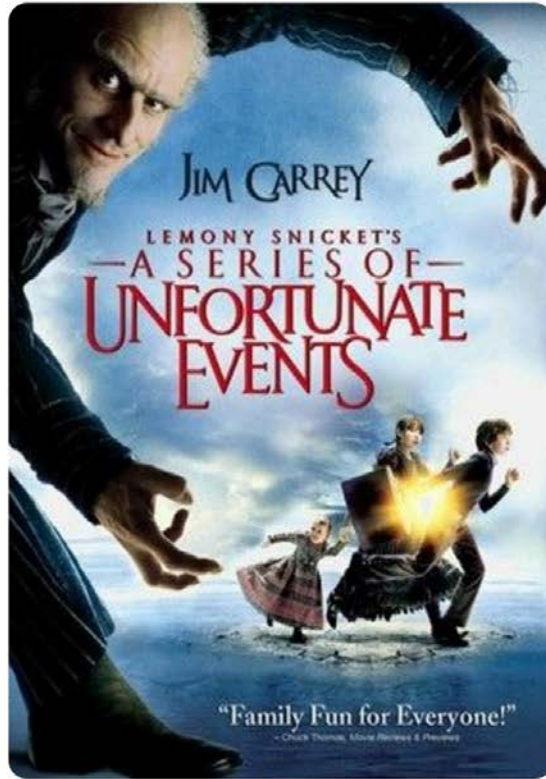
**René D. Garreaud**

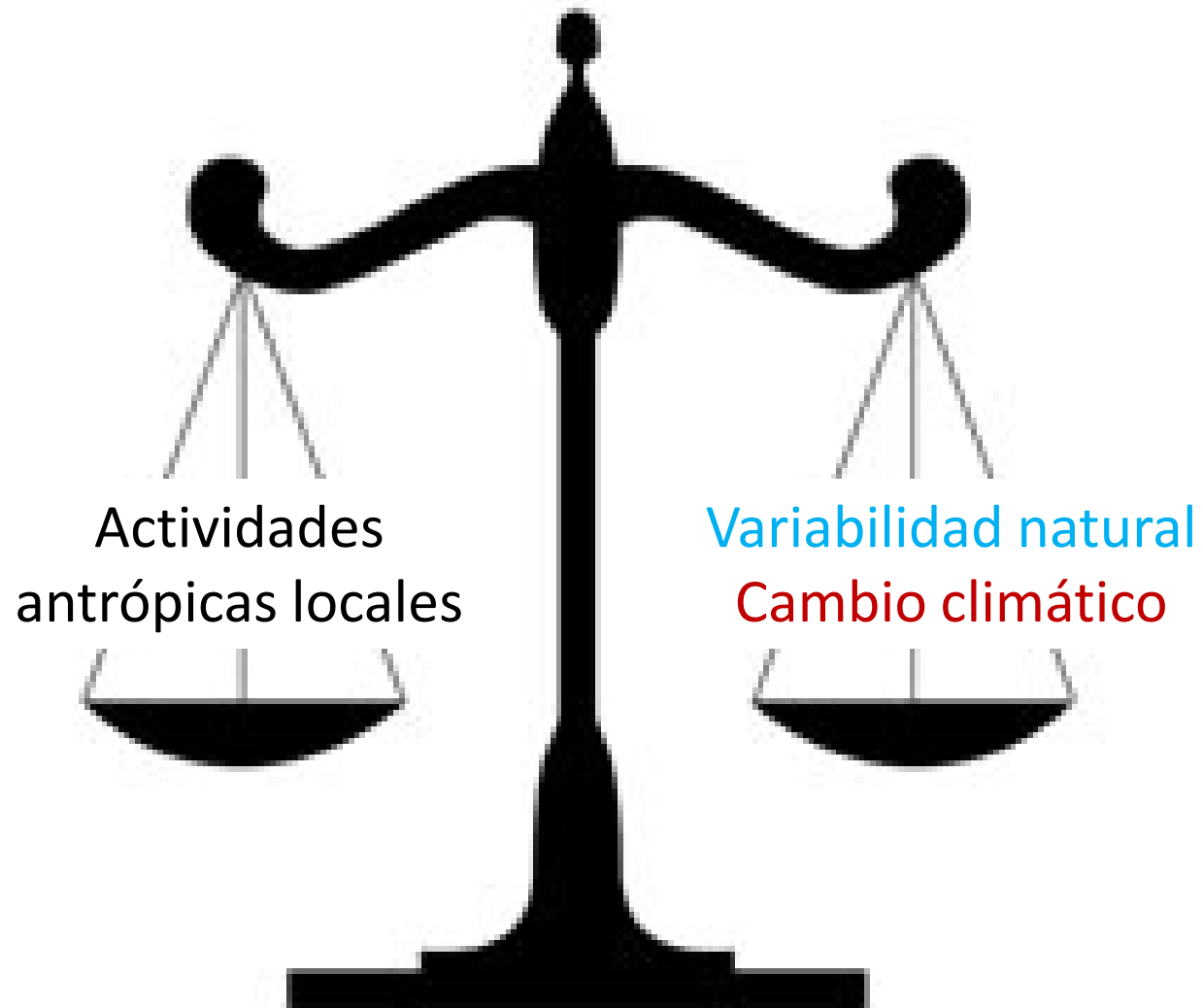
Profesor Titular

Departamento de Geofísica - Universidad de Chile

Subdirector, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)

Jornadas INTESAL – Junio 2017



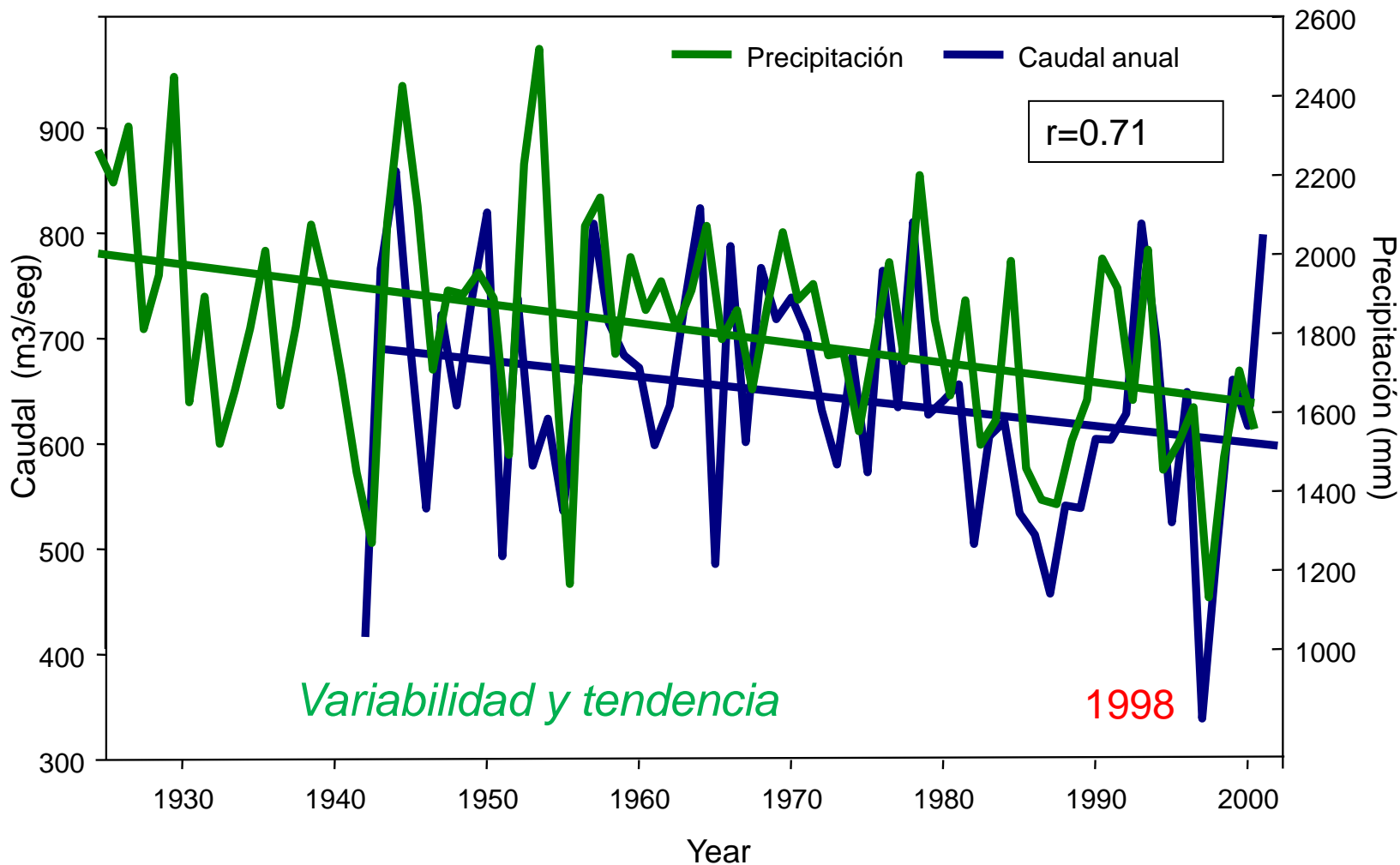


# Estructura

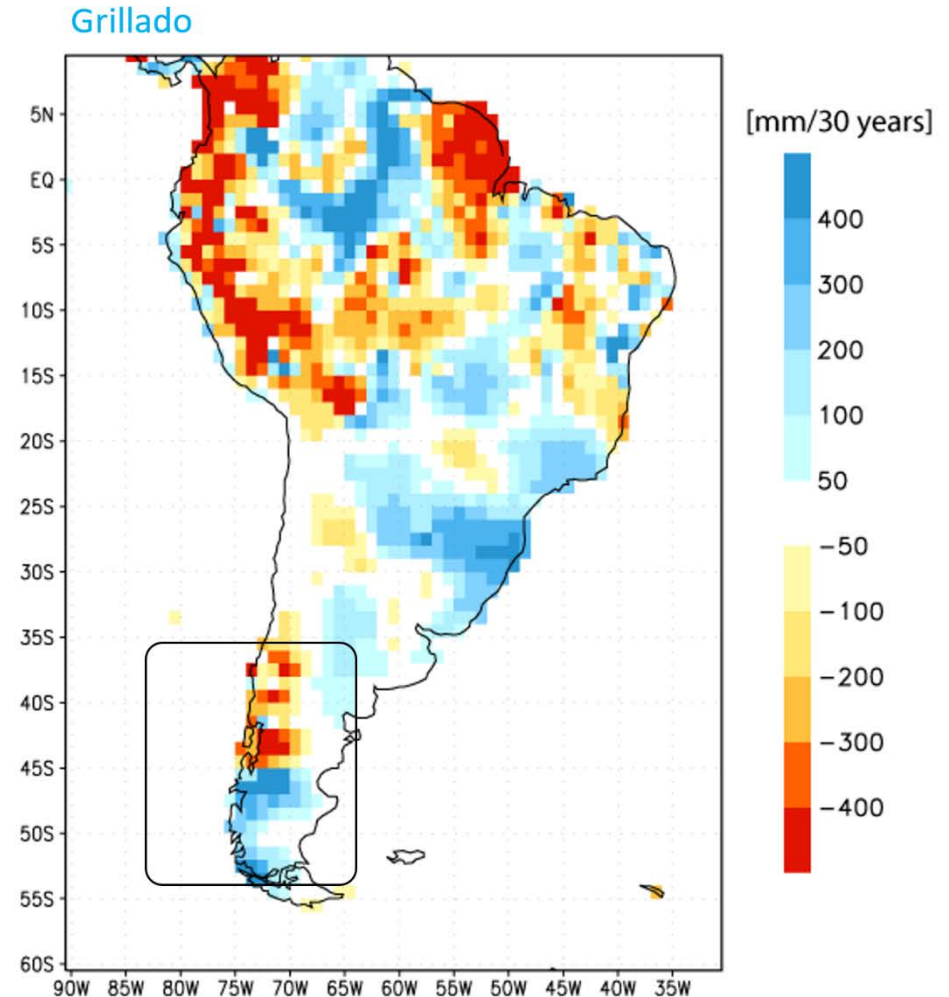
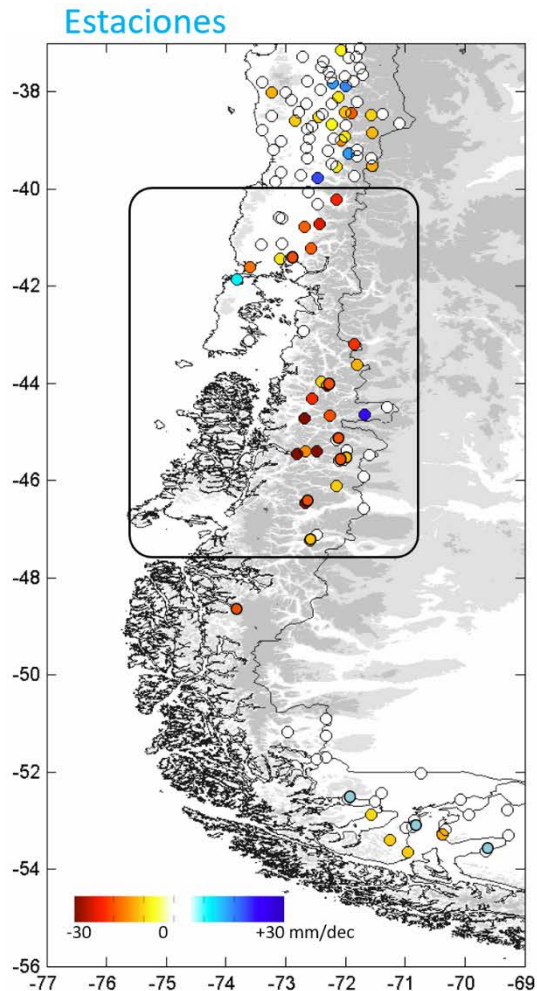
---

- Clima, variabilidad y cambio
- El terrible 2016
- Como proyectamos el futuro?
- Proyecciones regionales
- La letra chica y comentarios finales

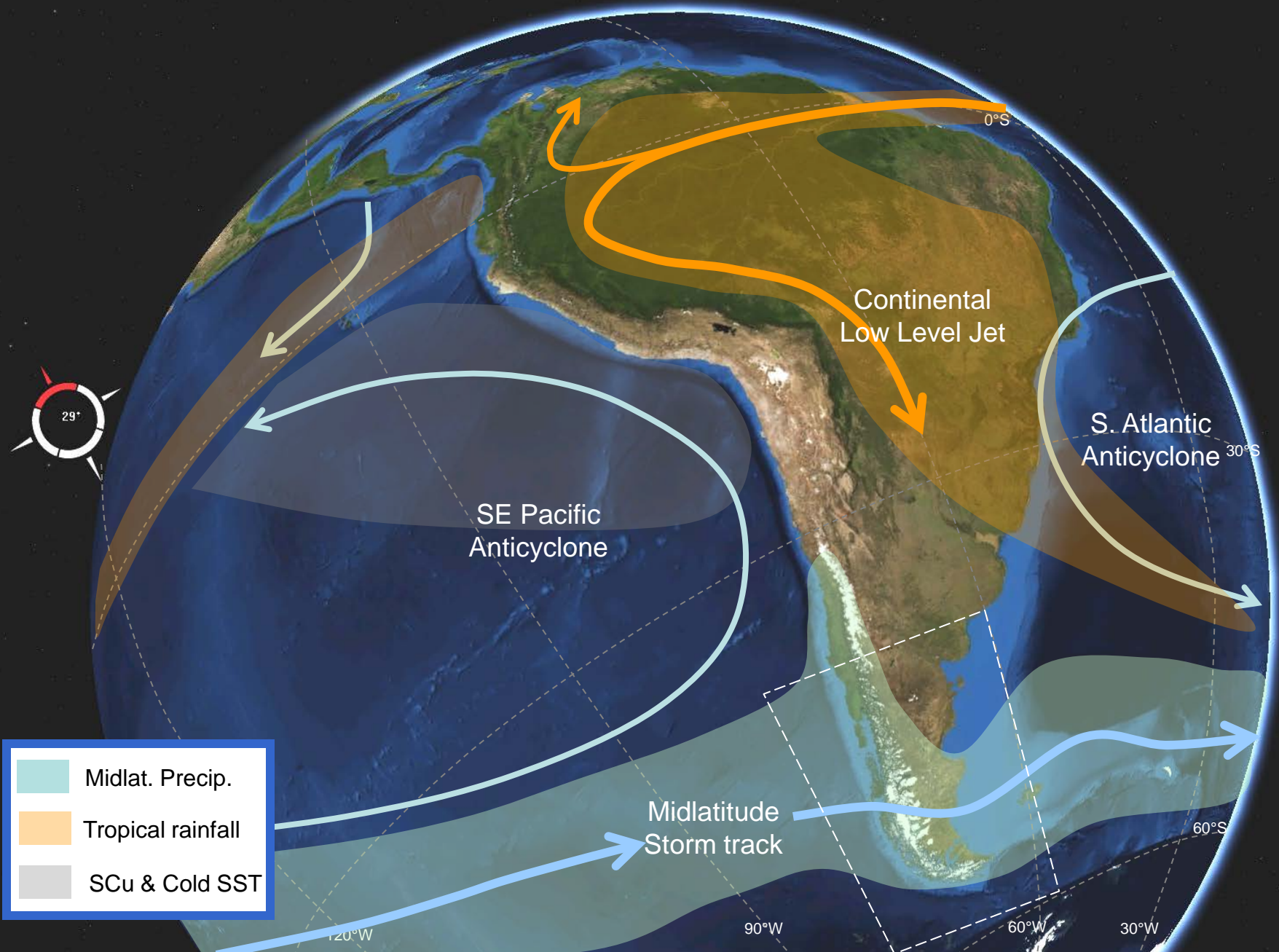
# Comparación entre la precipitación de Puerto Montt y el caudal del Río Puelo (Fuente: Antonio Lara, UACH)



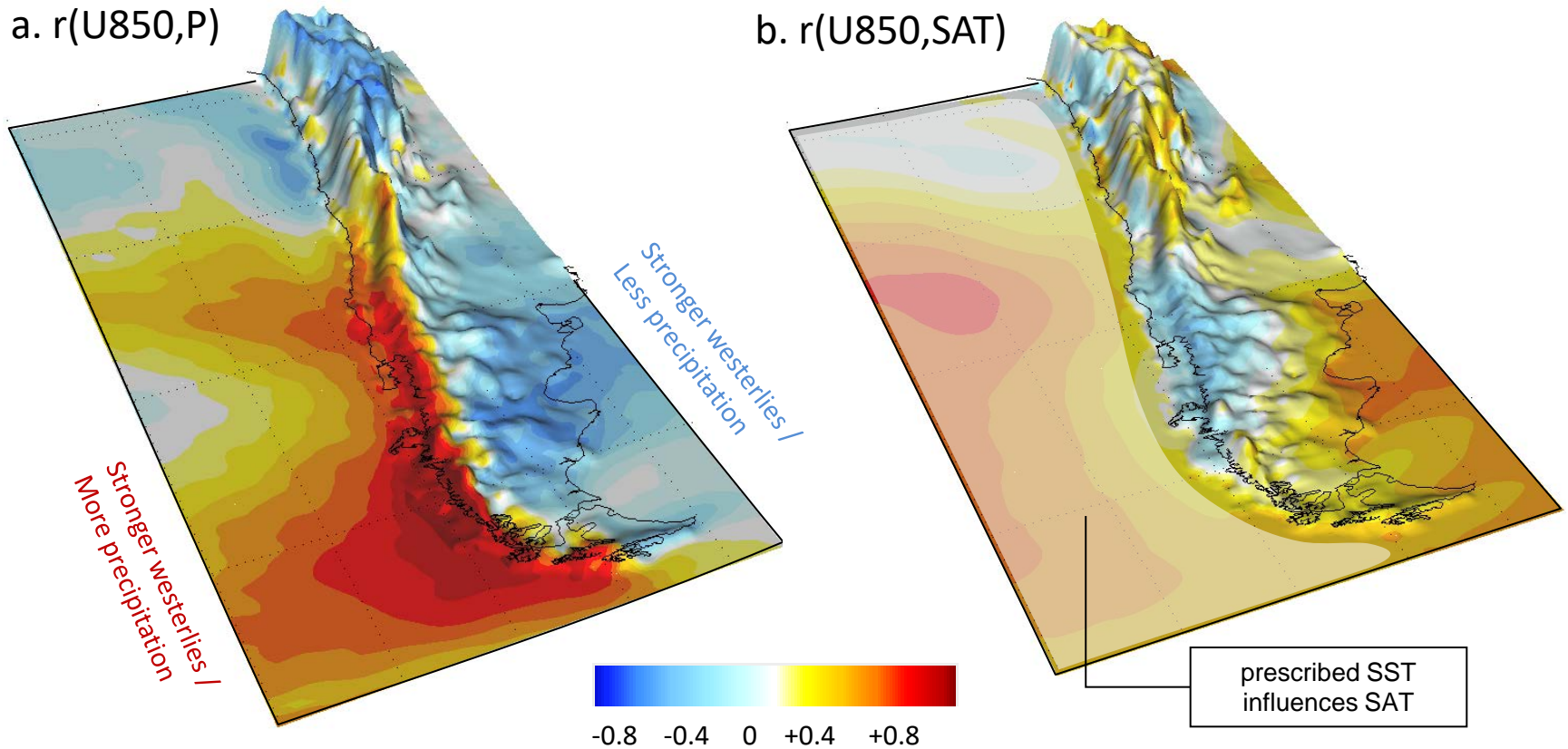
# Tendencias observadas de precipitación (ONDEFM; 1970-2016)



# El Panorama Continental



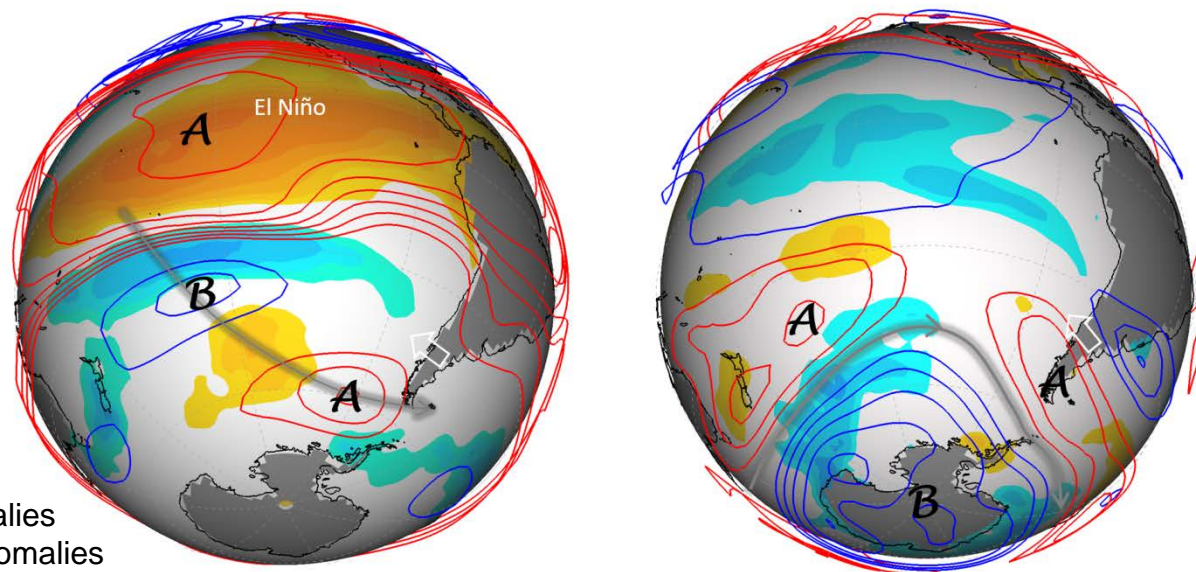
# Correlación entre viento zonal (oeste) y precipitación en escala interanual...



Entre más intenso los Oestes, mayor la precipitación  
Entre más débiles los Oestes, menor la precipitación



# Impacto de El Niño (ENSO+) y fase positiva del Modo Anular del Sur (SAM+) en Patagonia durante primavera-verano

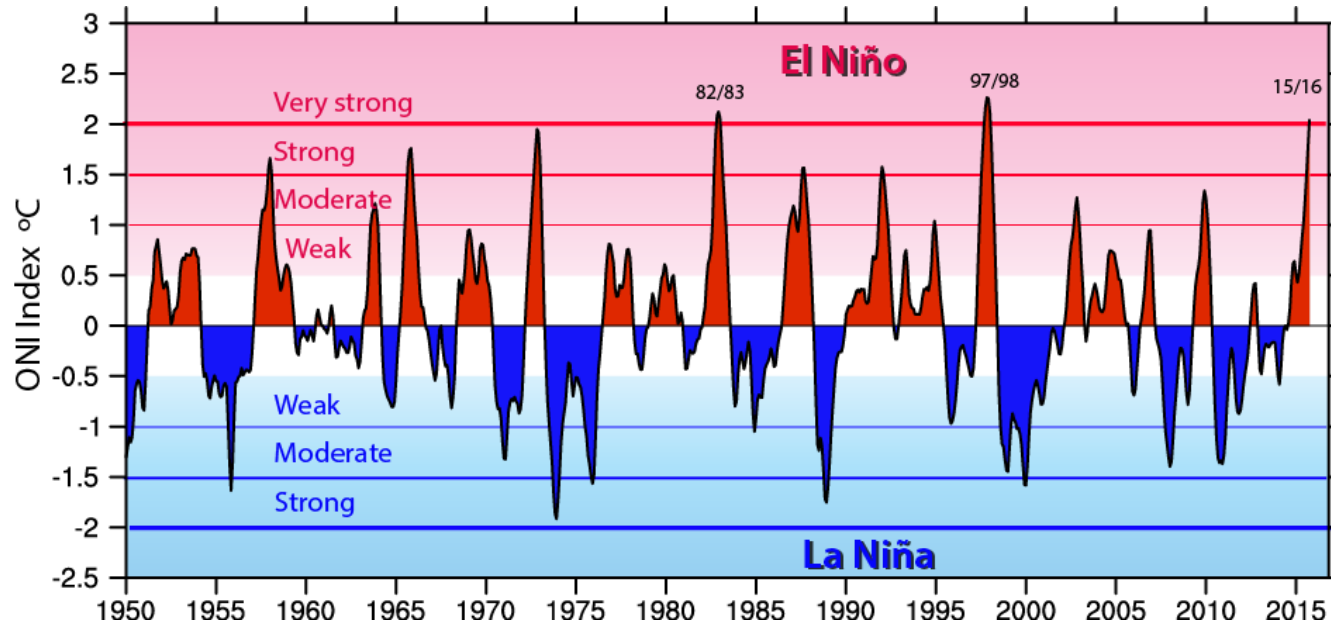


El Niño  
(Variabilidad Natural)

Fase SAM+  
(Antrópico: GEI y O3)

Diferentes forzamiento, respuesta similar:  
Condiciones anticiclónicas y sequía en Patagonia

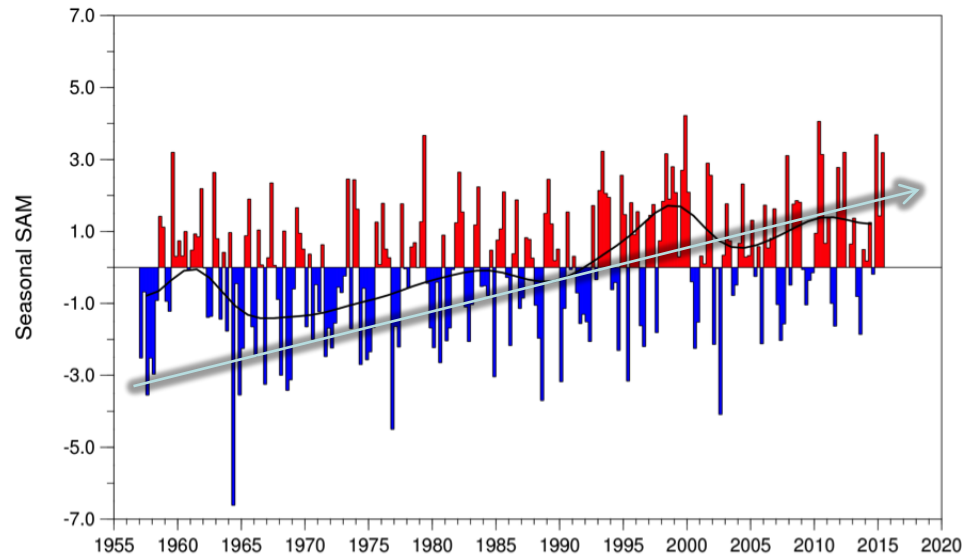
# ENOS: En permanente oscilación entre fase cálida (Niño) y fría (Niña)



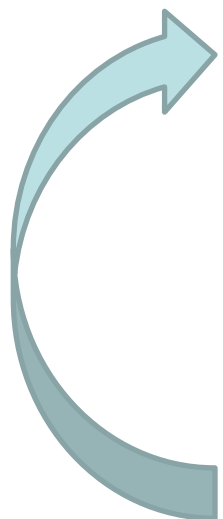
ENSO puede explicar sequias y máximos pluviales....pero no una tendencia!

# SAM: Diferencia de presión 60°S-40°S

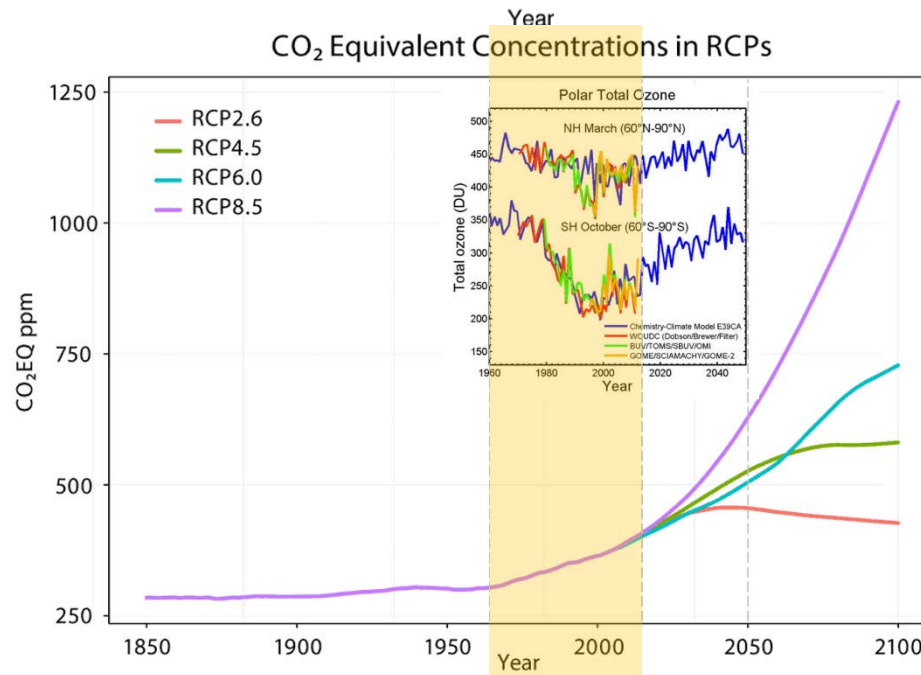
Tendencia de SAM



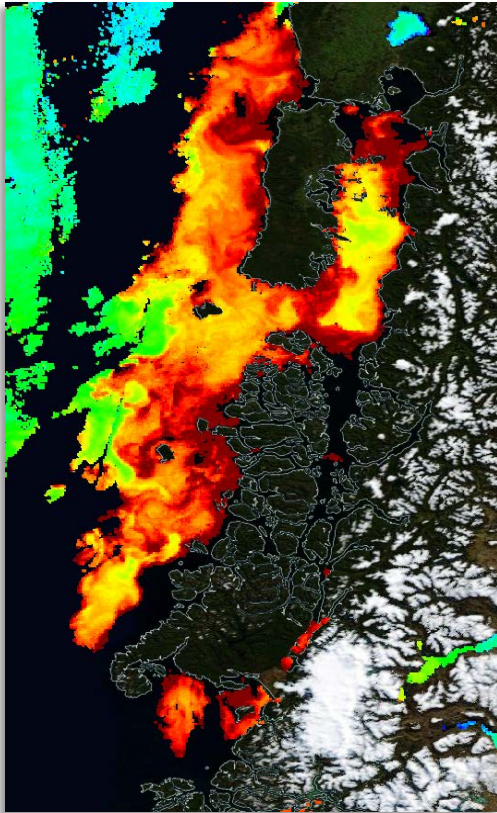
Disminución de precipitación en Patagonia



Incremento CO2  
Disminución O3



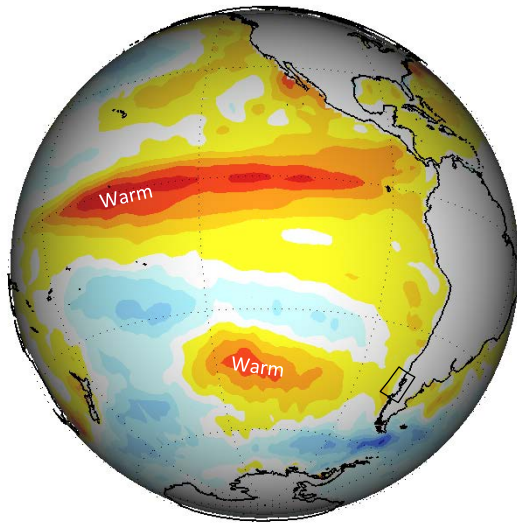
# El terrible 2016 (JFM)



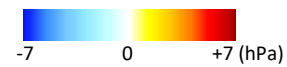
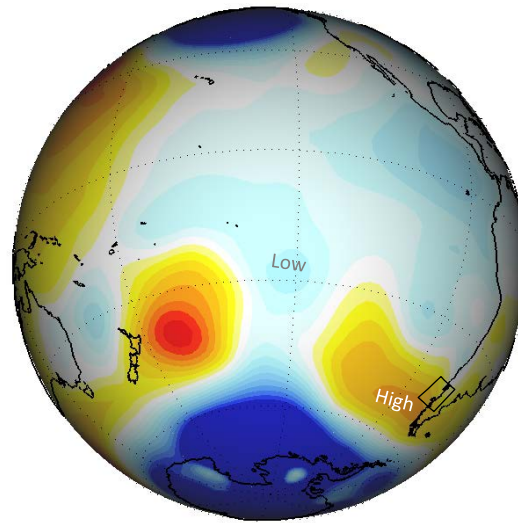
Clorofila, 03 Marzo 2016. MODIS

# Condiciones de gran escala – EFM 2016

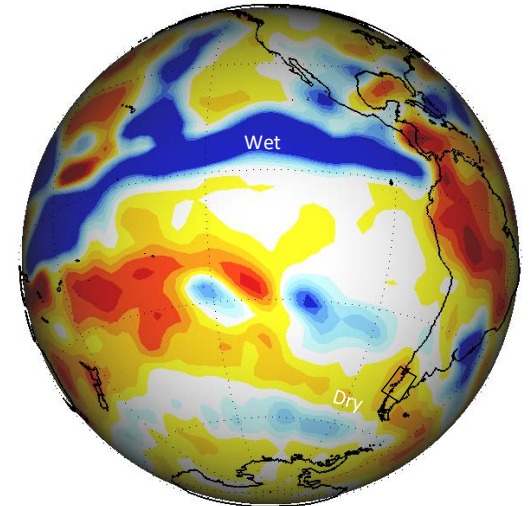
(a) SST (NOAA OI)



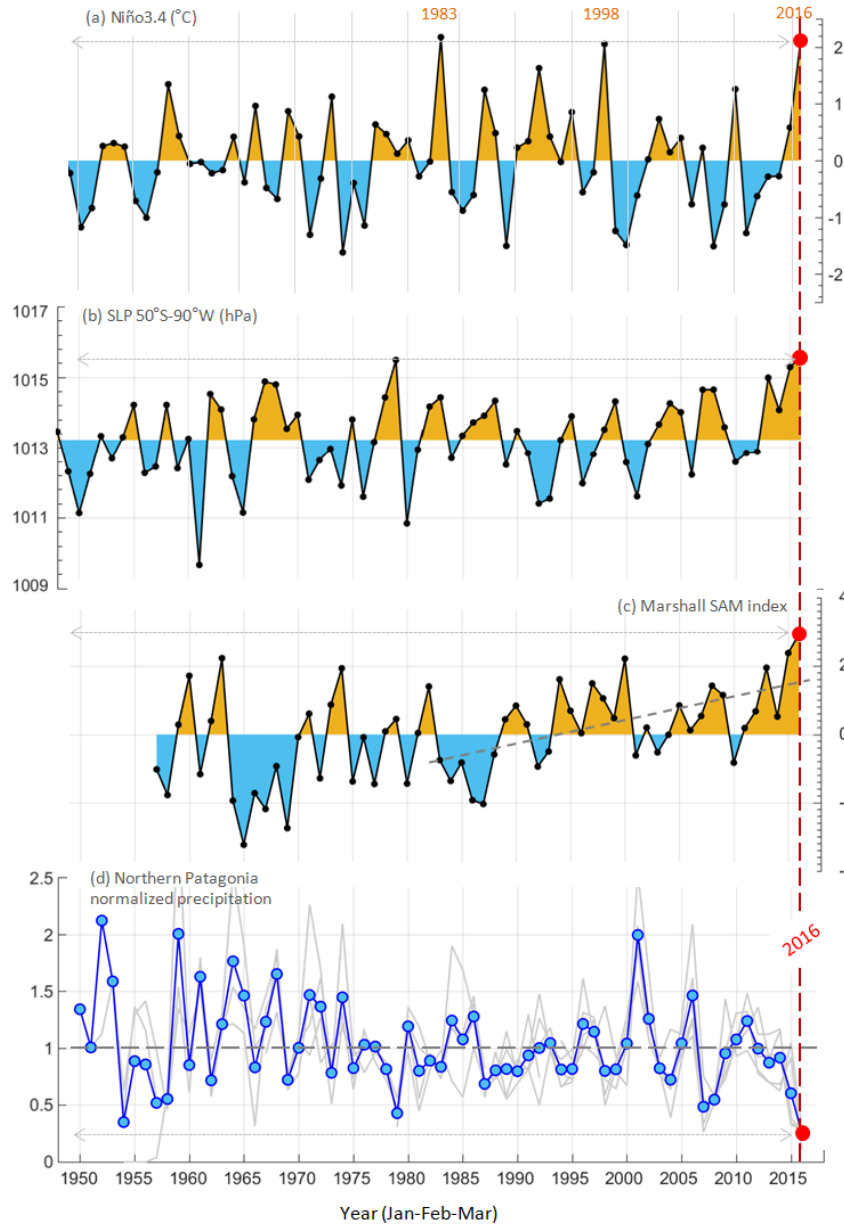
(c) SLP (NNR)



(b) Precipitation (CMAP)



# Condiciones de gran escala – EFM 2016



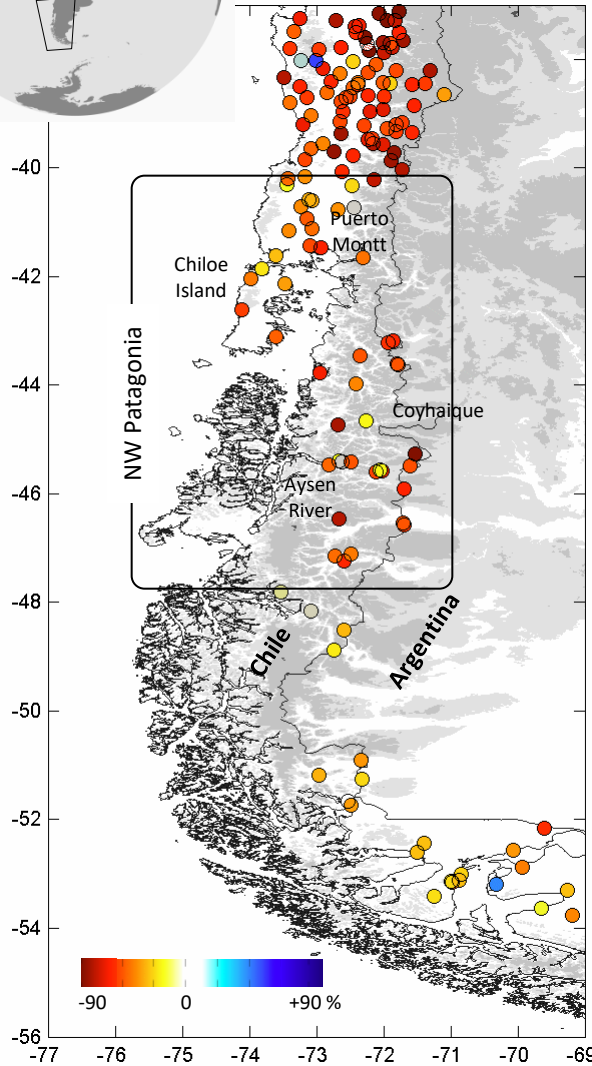
El Niño!  
Natural....

SAM!  
Antropogénico

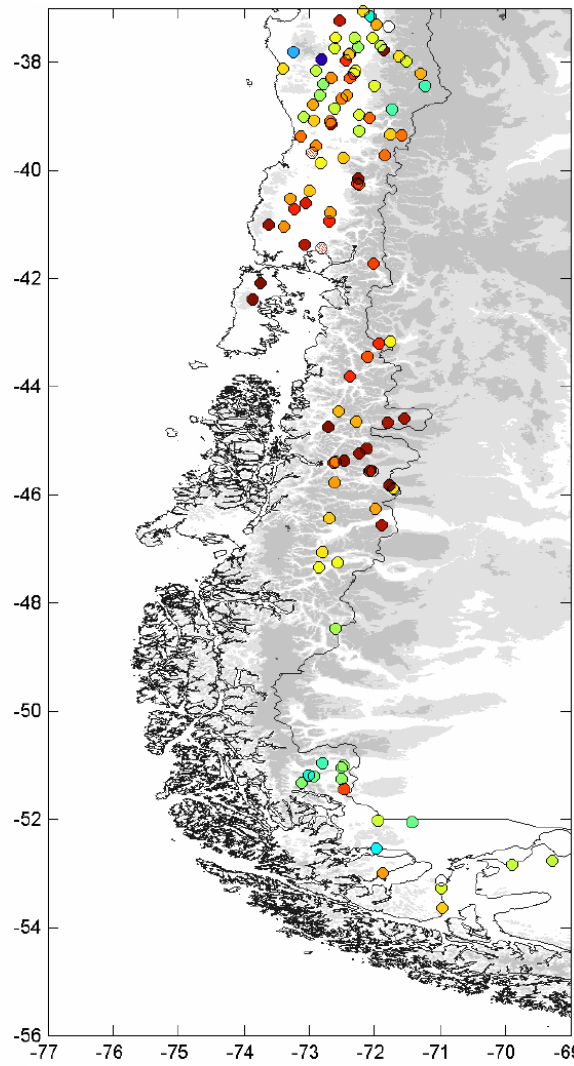
# El terrible 2016 (JFM)



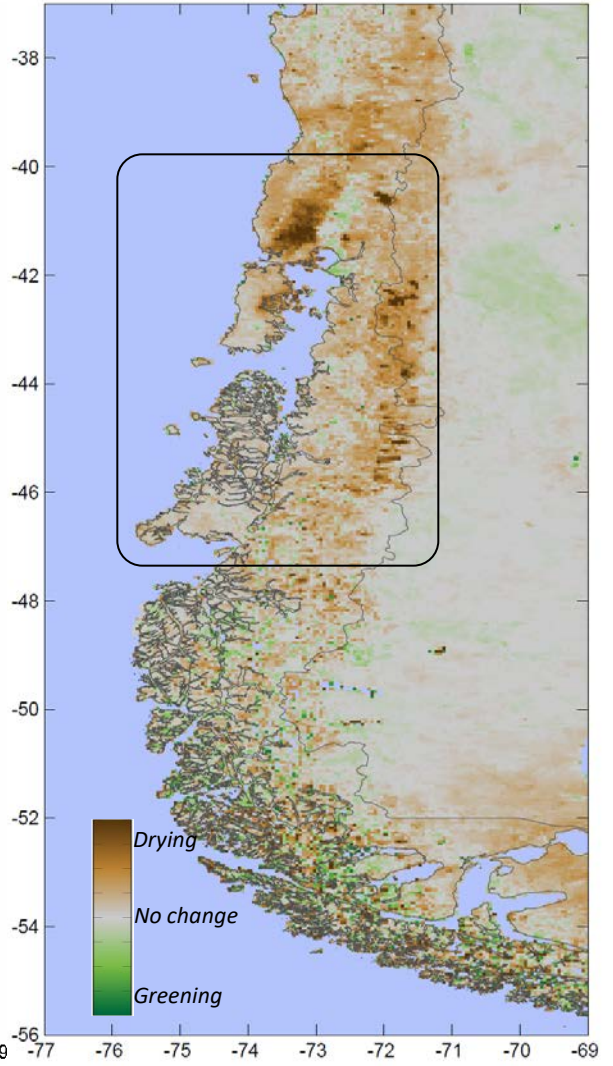
(a) Precipitation anomalies



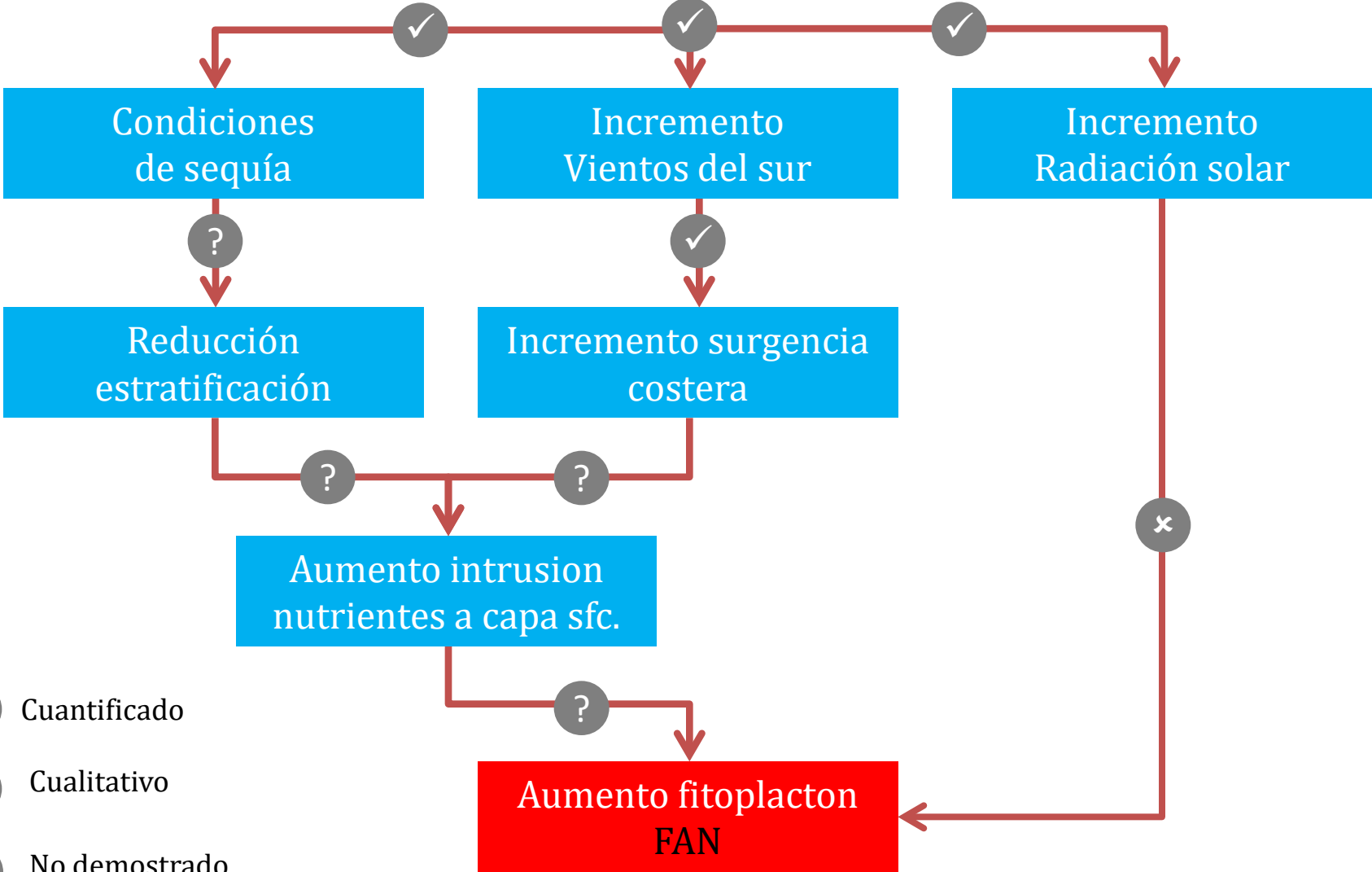
(a) Streamflow anomalies



(b) Enhanced Vegetation Index anomalies



Alteraciones climáticas globales (EN, SAM+)



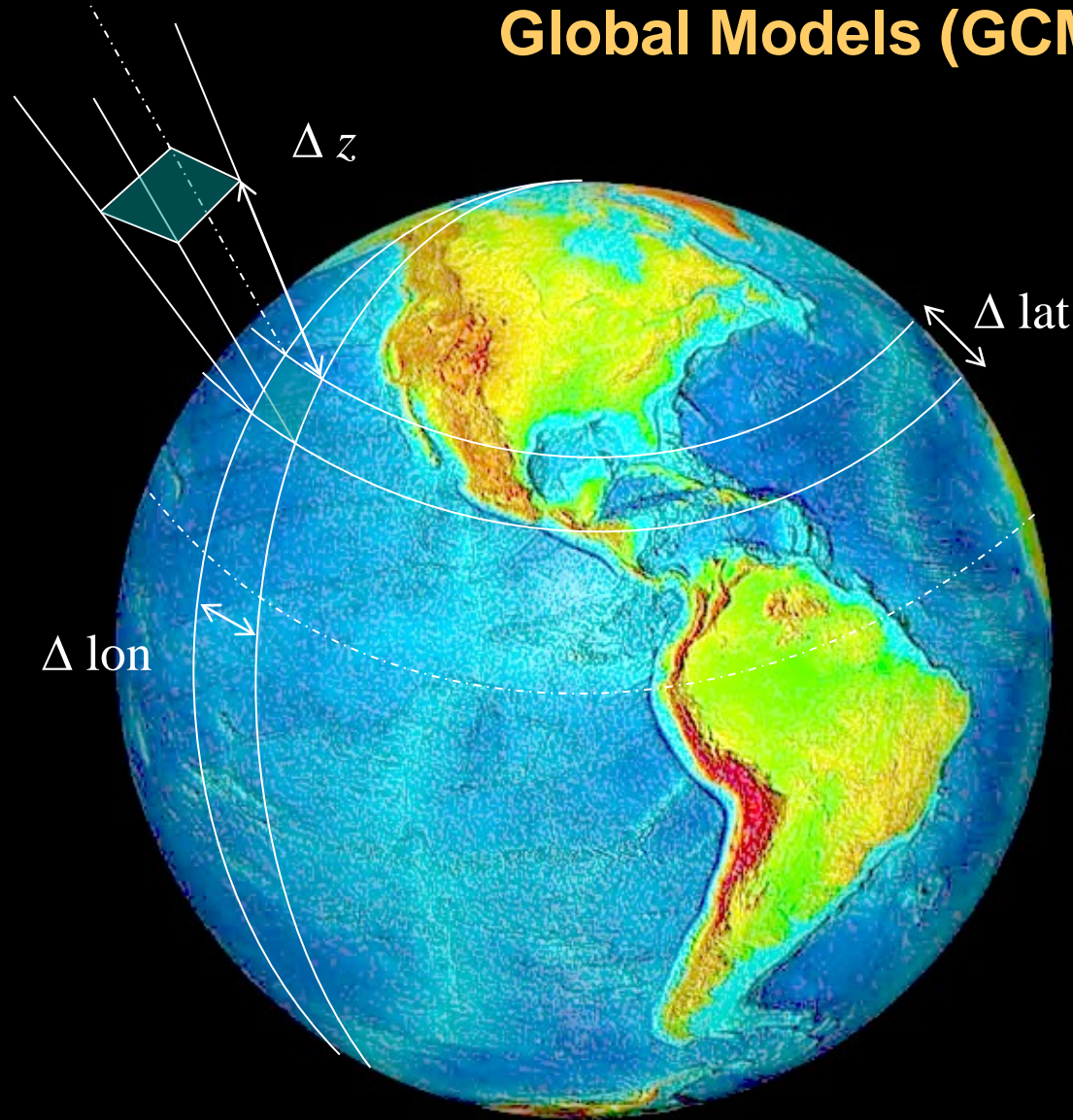
- ✓ Cuantificado
- ? Cualitativo
- x No demostrado





And  
What  
Next...

# Global Models (GCM)



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

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla\right)T - S_p \omega = \underbrace{Q_{RAD} + Q_{Conv} + Q_{Sfc}}_{\text{radiative, convective, and surface fluxes}}$$

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

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

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

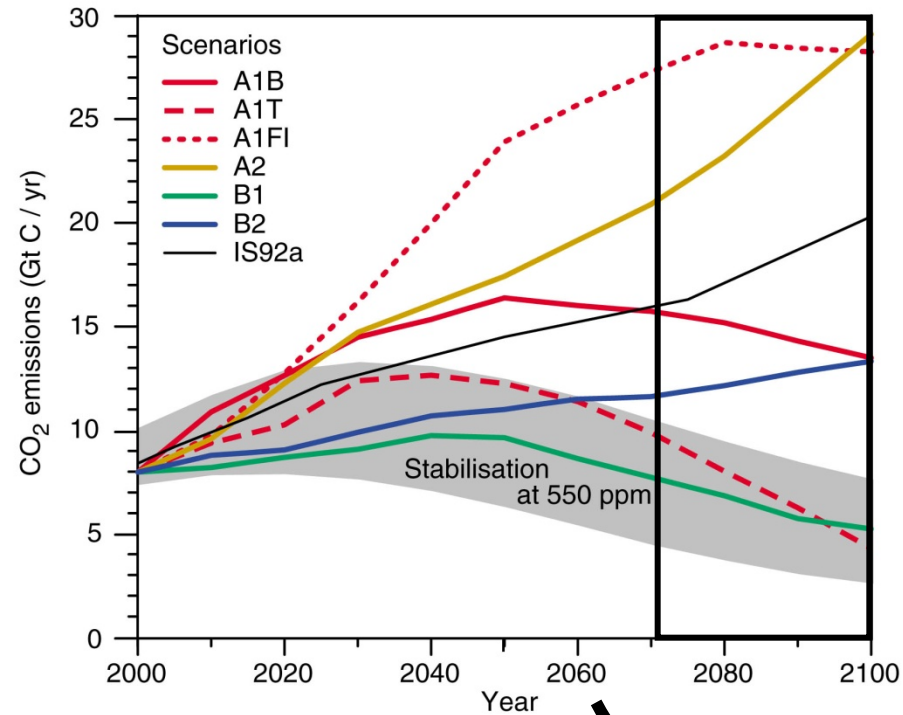
$\Delta z \sim 1 \text{ km}$

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

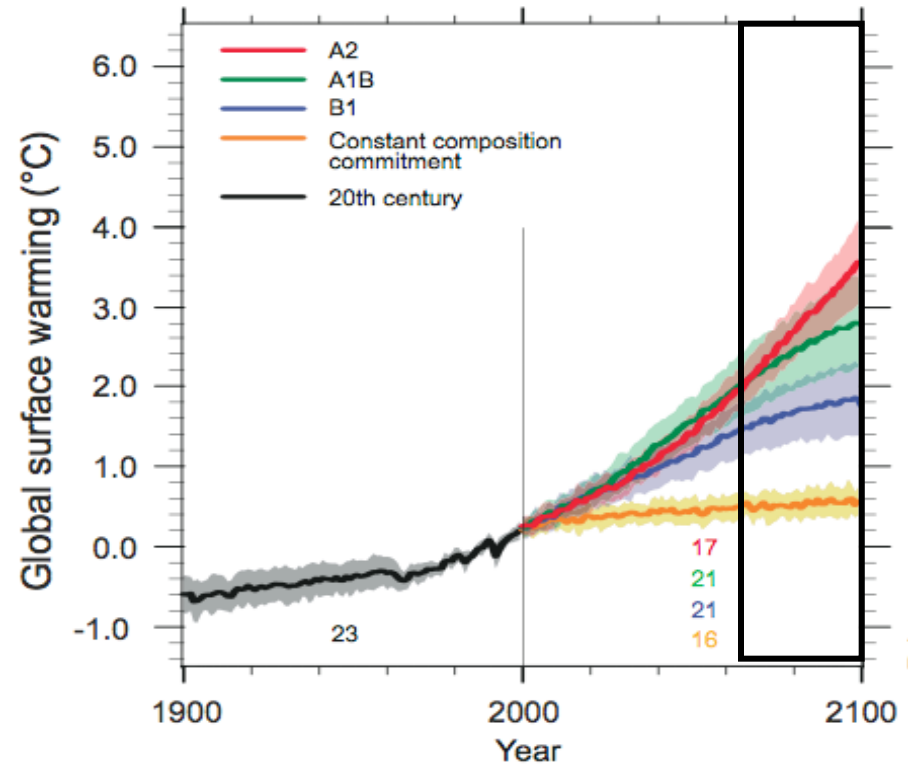
Top of atmosphere: 15-50 km

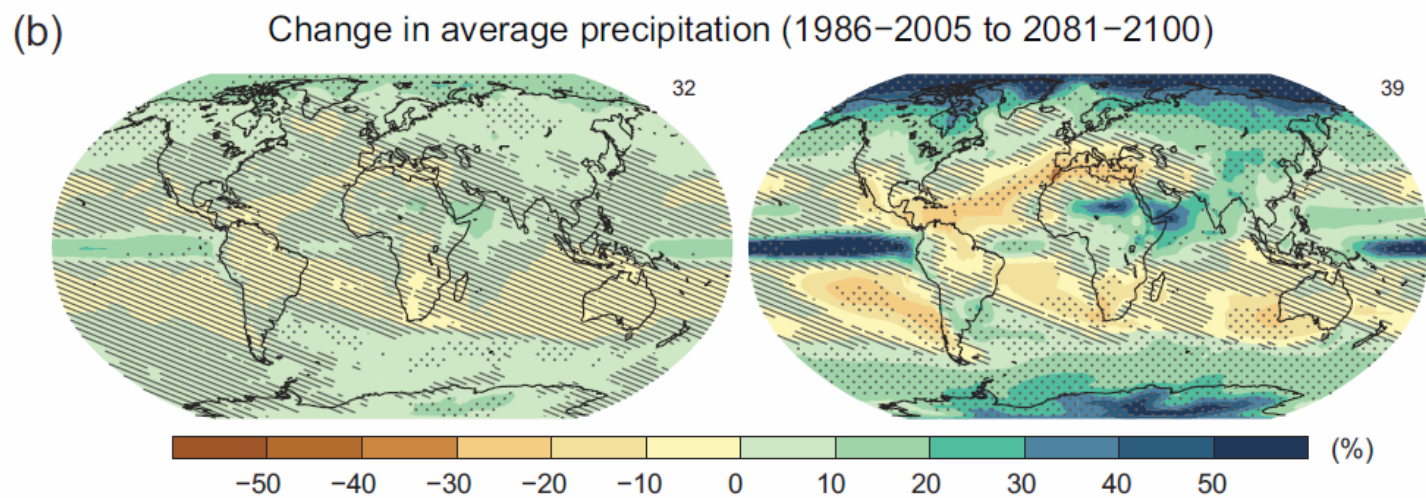
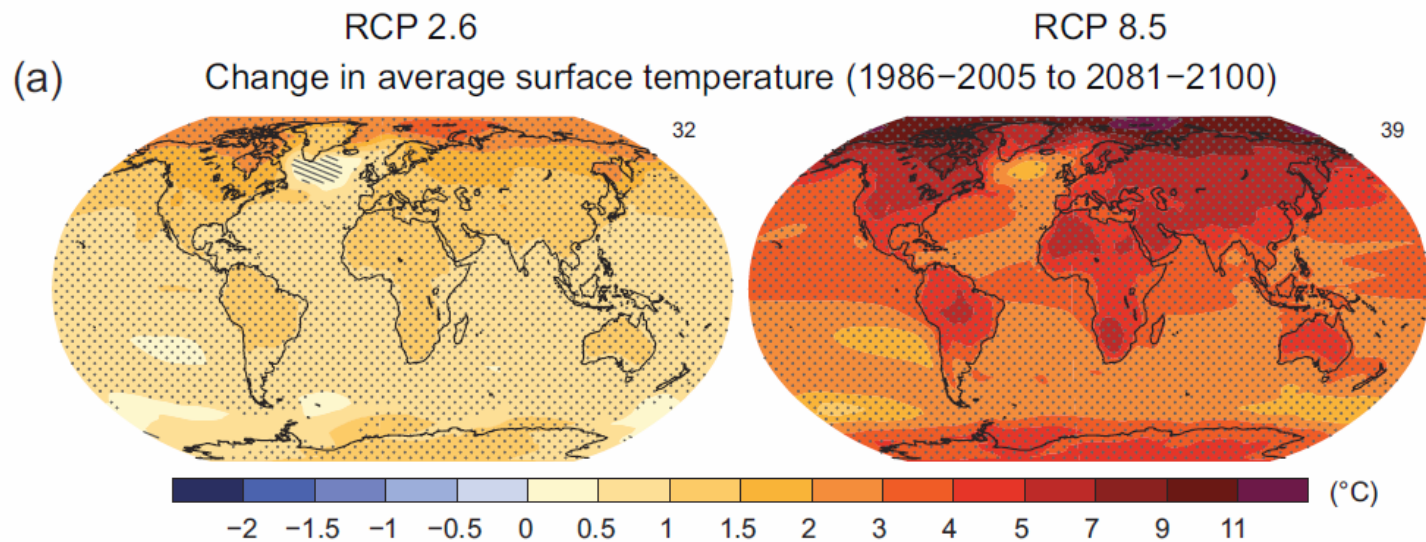
# Future Climate Scenarios

## GHG (CO<sub>2</sub>,...) emissions projections + GCMs



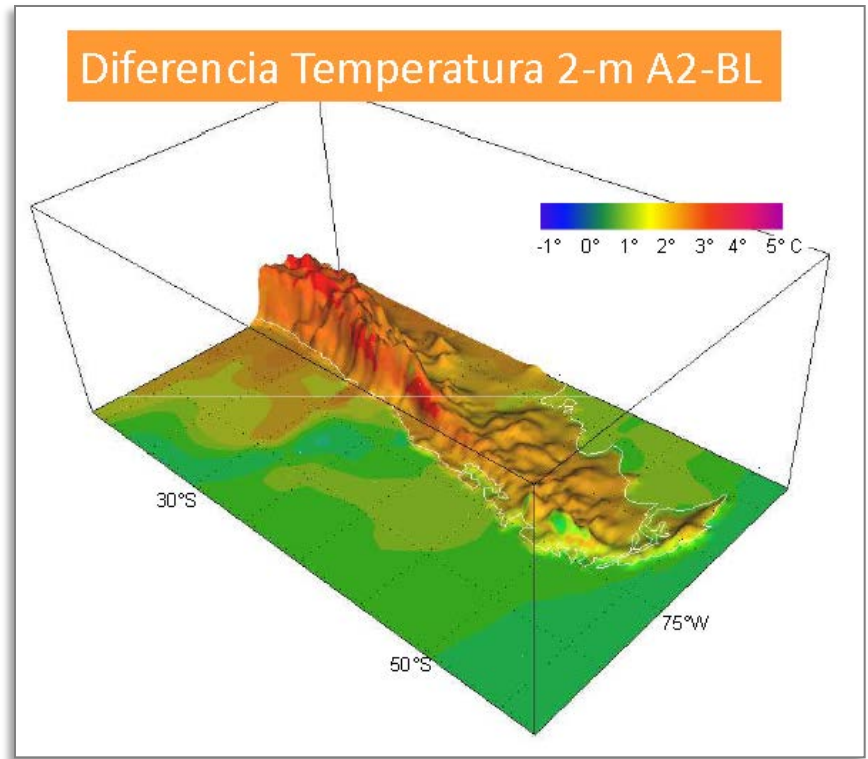
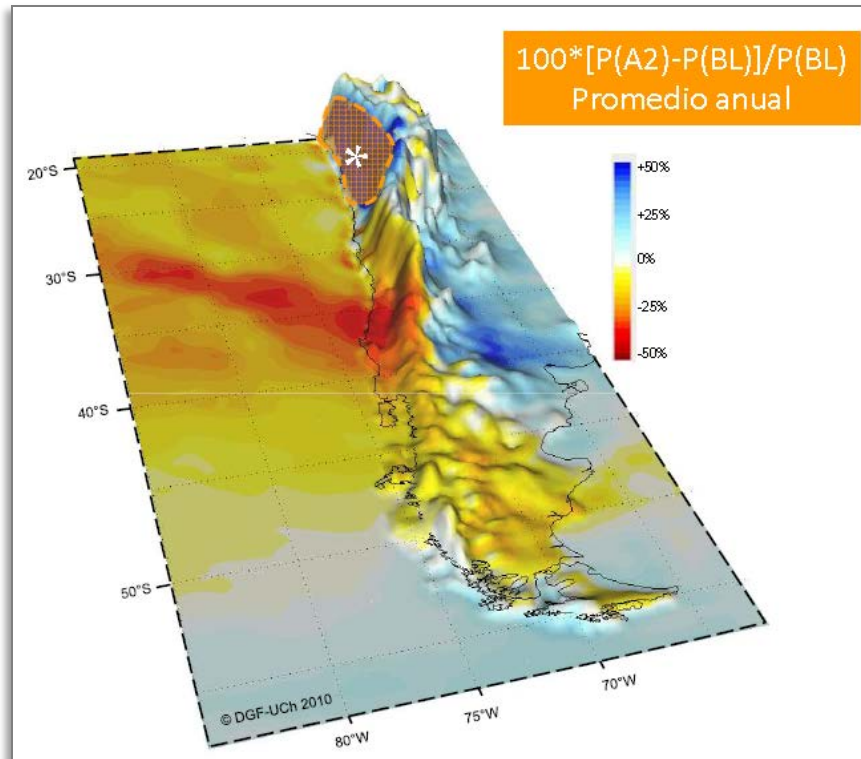
20+ GCMs  
CMIP3/IPCC AR4





# Impactos Regionales del Cambio Climático

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



# Conclusiones

\* Anomalías climáticas locales de alto impacto (sequia, alta radiación solar, vientos del sur) se explican por el debilitamiento de los Oestes y altas presiones al sur del continente.

\* Estas anomalías climáticas forzadas por El Niño (natural) y el cambio climático antropogénico

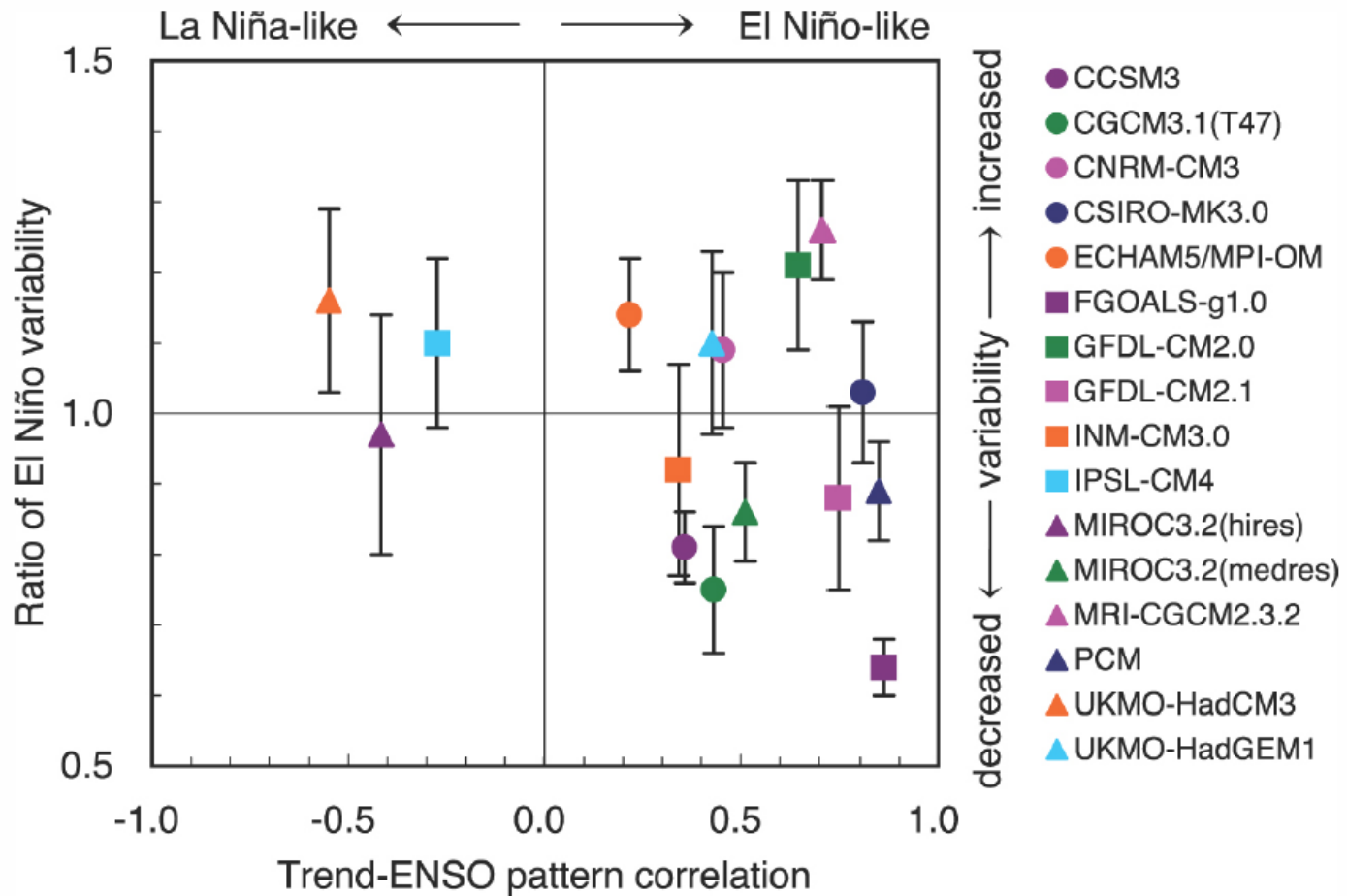
\* El futuro climático de la Patagonia: Disminución de precipitación y leve aumento de temperatura, superpuesta en variabilidad natural.

ENSO continua como siempre. Incertidumbre en próximas décadas. No se aceptan devoluciones....

Material de apoyo

# Una pregunta sin respuesta: ENSO en el futuro?

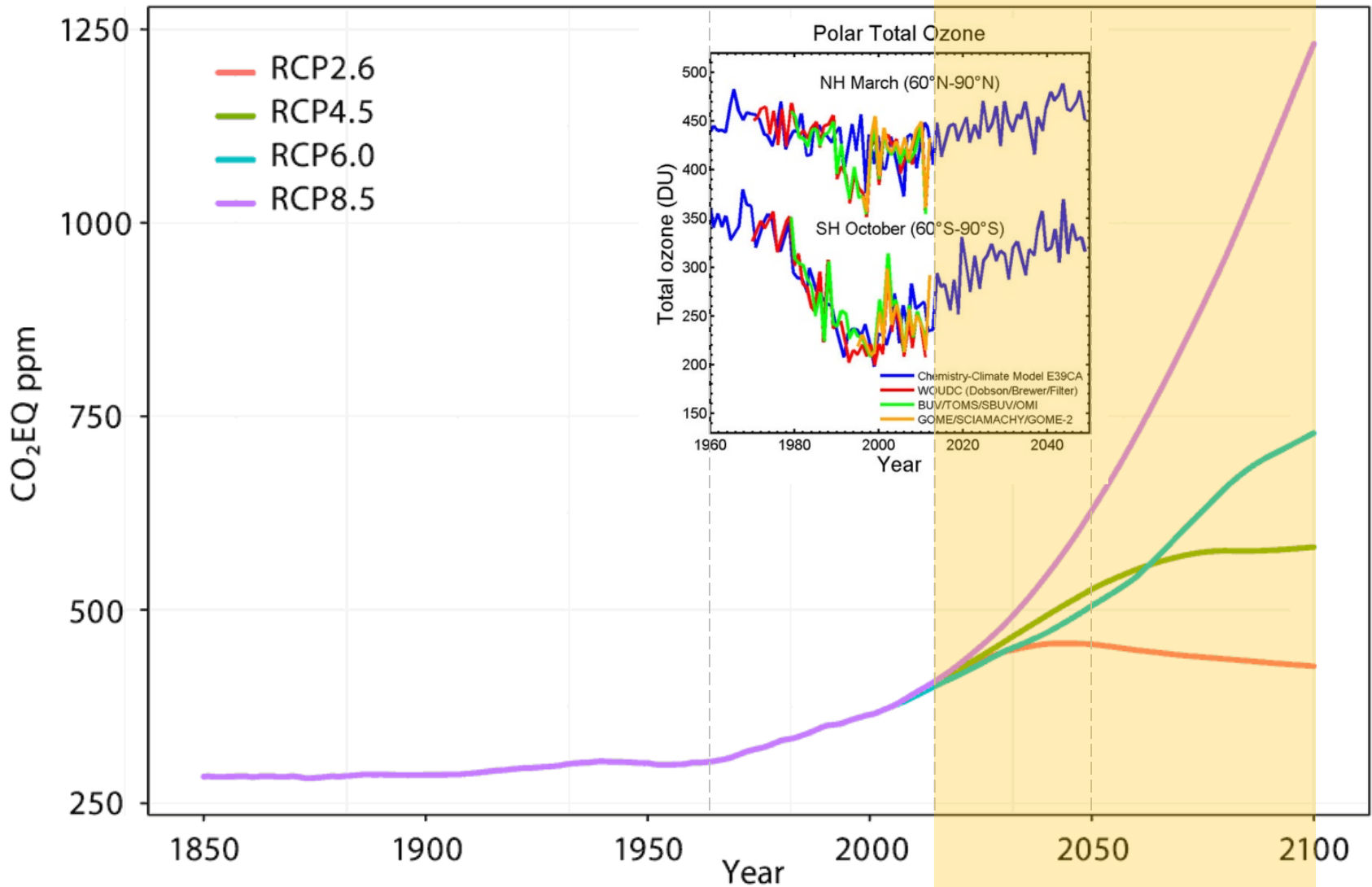
Digamos que sigue igual...

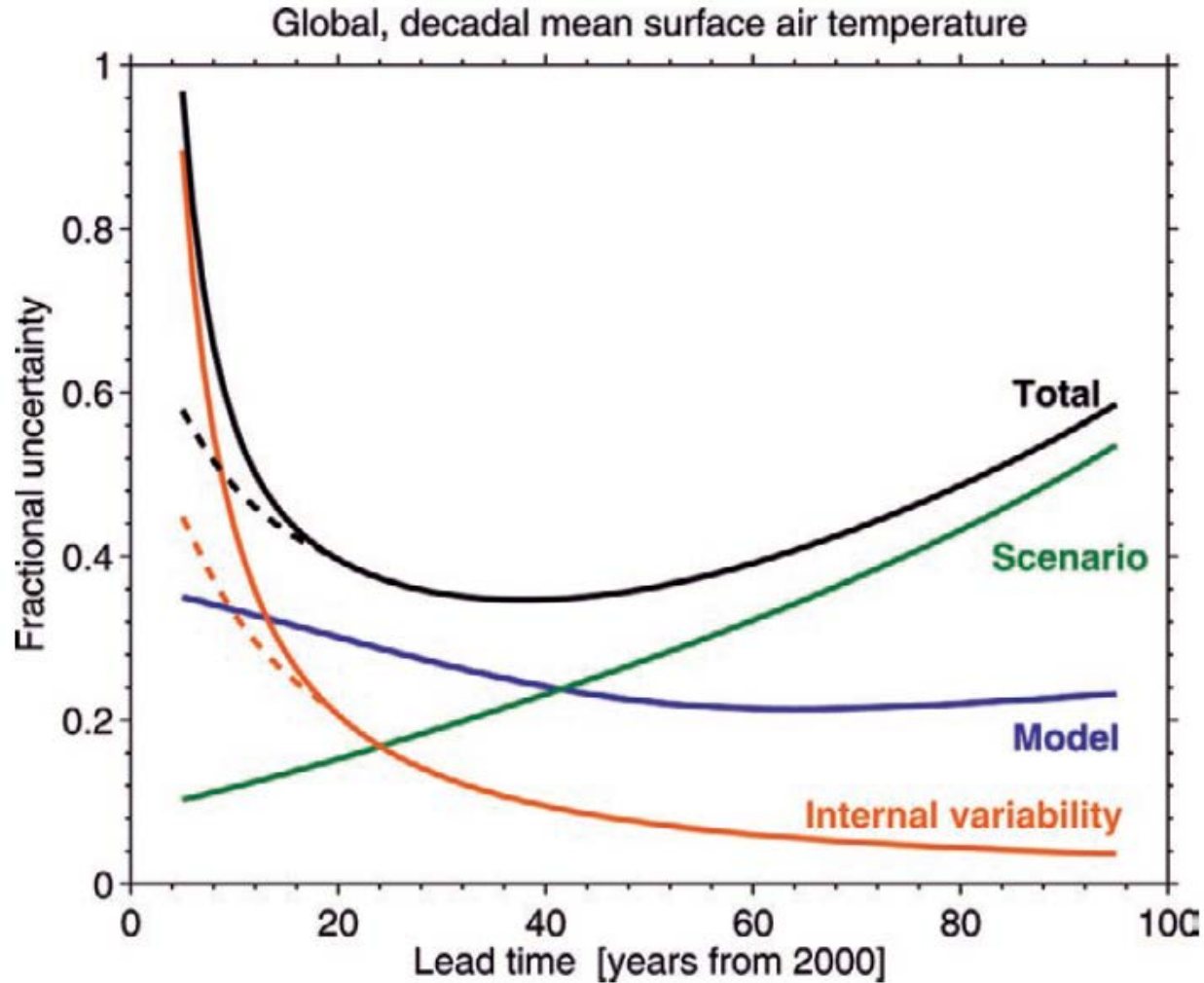




# Greenhouse gases and Ozone: the main drivers of climate change

## CO<sub>2</sub> Equivalent Concentrations in RCPs

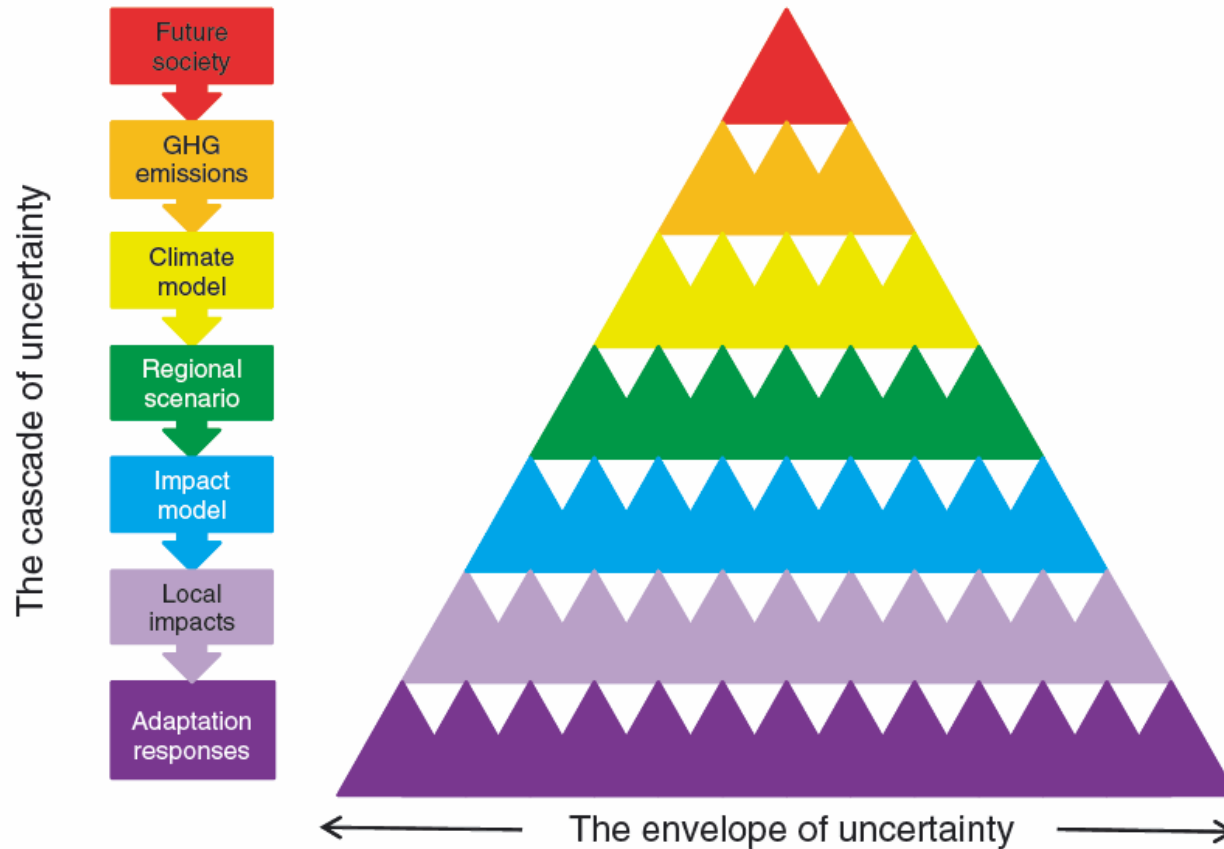




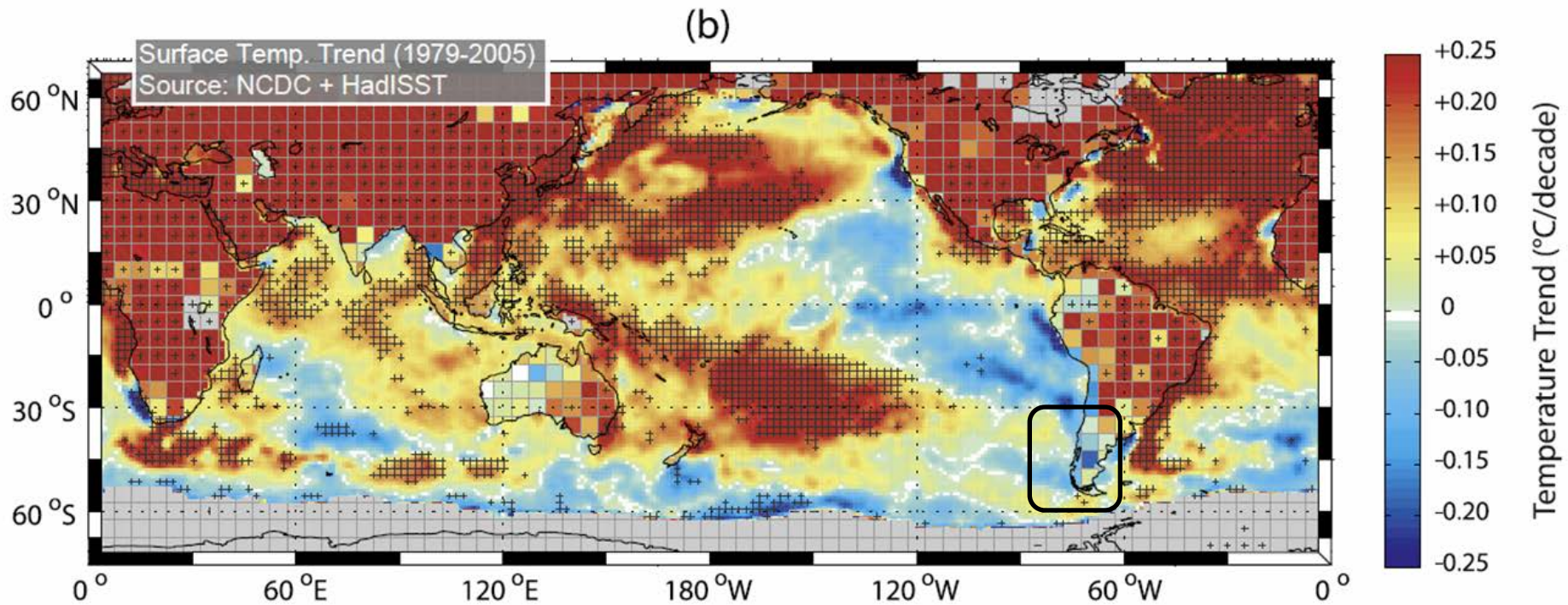
Fractional uncertainty = signal/noise = ensemble mean / ensemble spread

**Warning: uncertainty is not obviously related to accuracy.**

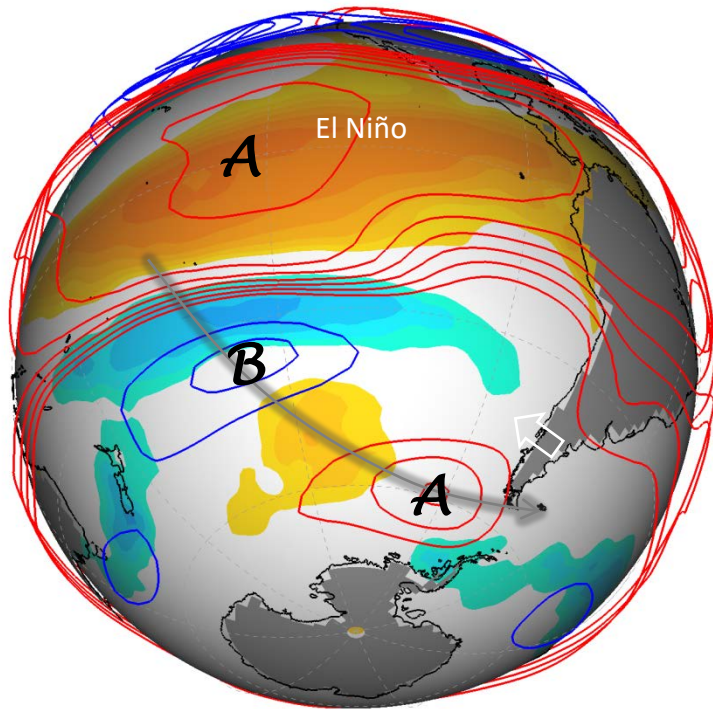
# La pirámide de incertidumbre



# Cambios Observados de Temperatura 1979-2005

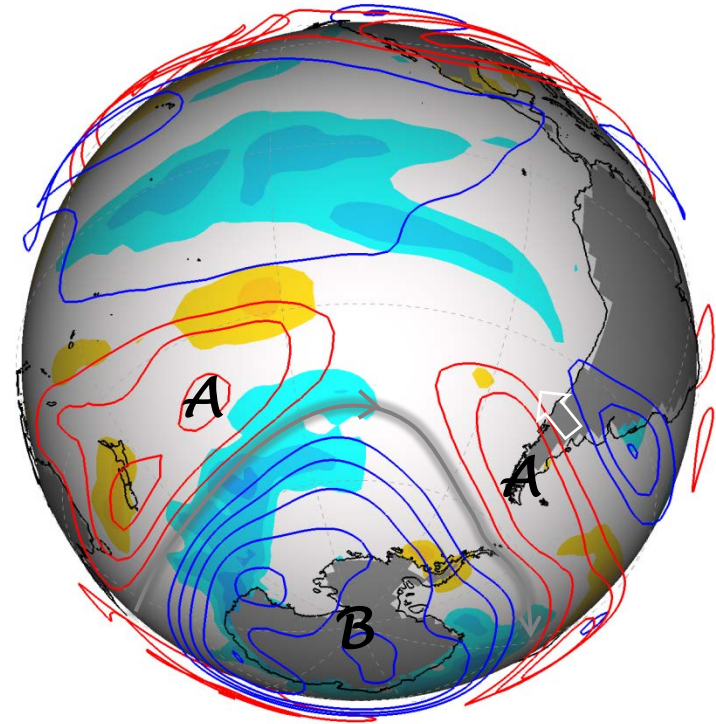


# Impacto de El Niño (ENOS) y el Modo Anular del Sur (SAM+) en Patagonia durante primavera-verano



El Niño

(Variabilidad Natural)

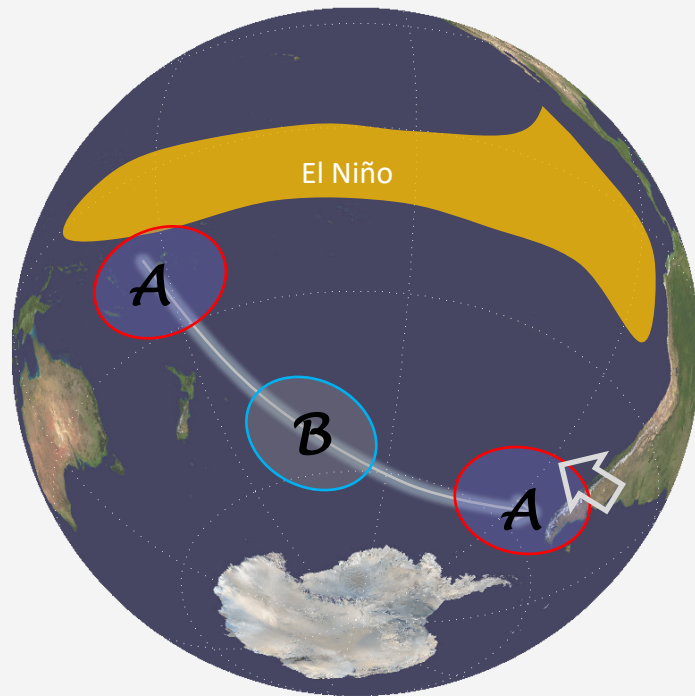


Fase SAM+

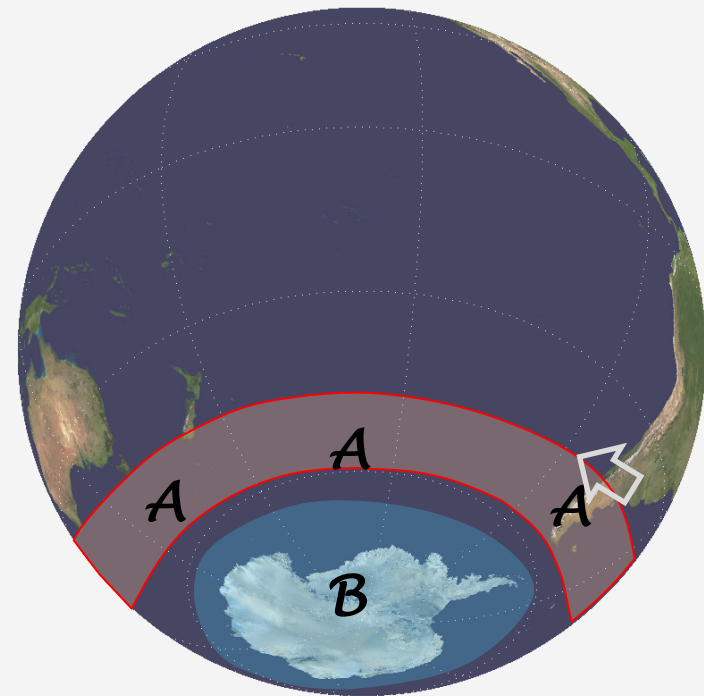
(Antrópico: GEI y O3)

Diferentes forzamiento, respuesta similar:  
Condiciones anticiclónicas y sequía en Patagonia

# Impacto de El Niño (ENOS) y el Modo Anular del Sur (SAM+) en Patagonia durante primavera-verano



Fase ENOS+  
(Variabilidad Natural)



Fase SAM+  
(Antrópico: GEI y O3)

Diferentes forzamiento, respuesta similar:  
Condiciones anticiclónicas y sequía en Patagonia