

# Tendencias climáticas- Cambio Climático

- Variabilidad climática y cambio climático
- Tendencias de temperatura en el siglo XX sobre la Antártida
  - Contribución del SAM
  - Mecanismos físicos
- Forzantes que explican las tendencias observadas del SAM
- El SAM y los modelos climáticos
- Simulaciones climáticas de la Antártida y los océanos australes
  - Representación clima presente
  - Proyecciones en un escenario climático futuro
  - Variaciones en la influencia del SAM sobre el clima de la Antártida y los Océanos australes

# ¿ Por qué se producen los cambios climáticos?

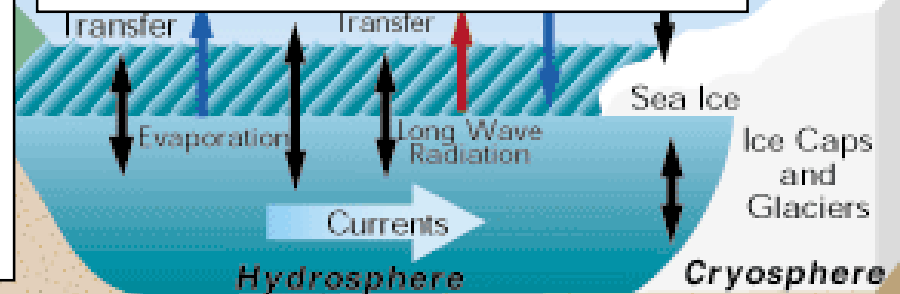
## THE CLIMATE SYSTEM

### Forzantes Antropogénicos

- Cambios en la composición química (Emisión de gases de efecto invernadero, aerosoles o partículas)
- Cambios en la superficie terrestre (deforestación, modificaciones en la cubierta vegetal, construcciones, etc.)

### Forzantes Naturales

- Cambios en la radiación solar
- Actividad volcánica
- Variabilidad interna
- Procesos geológicos

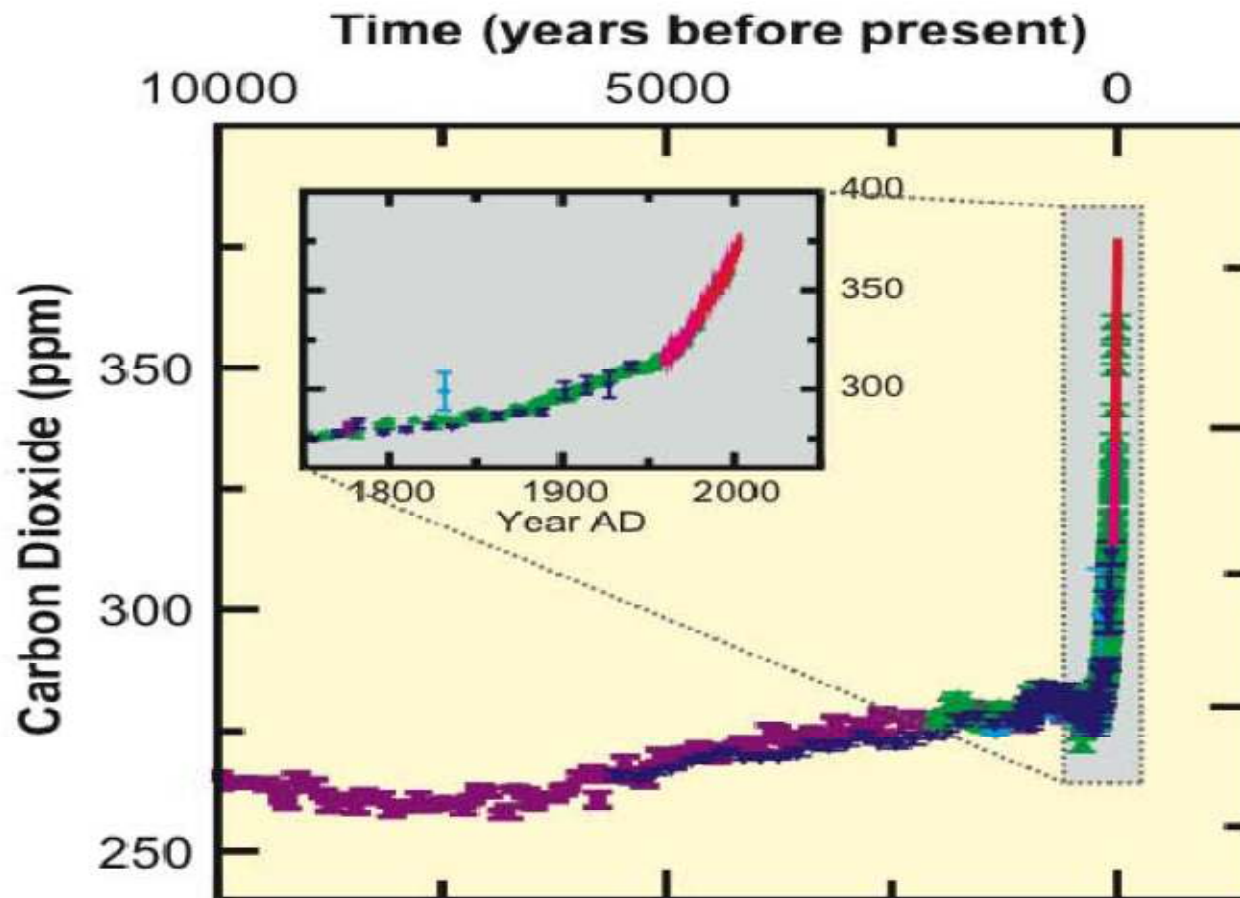


Space

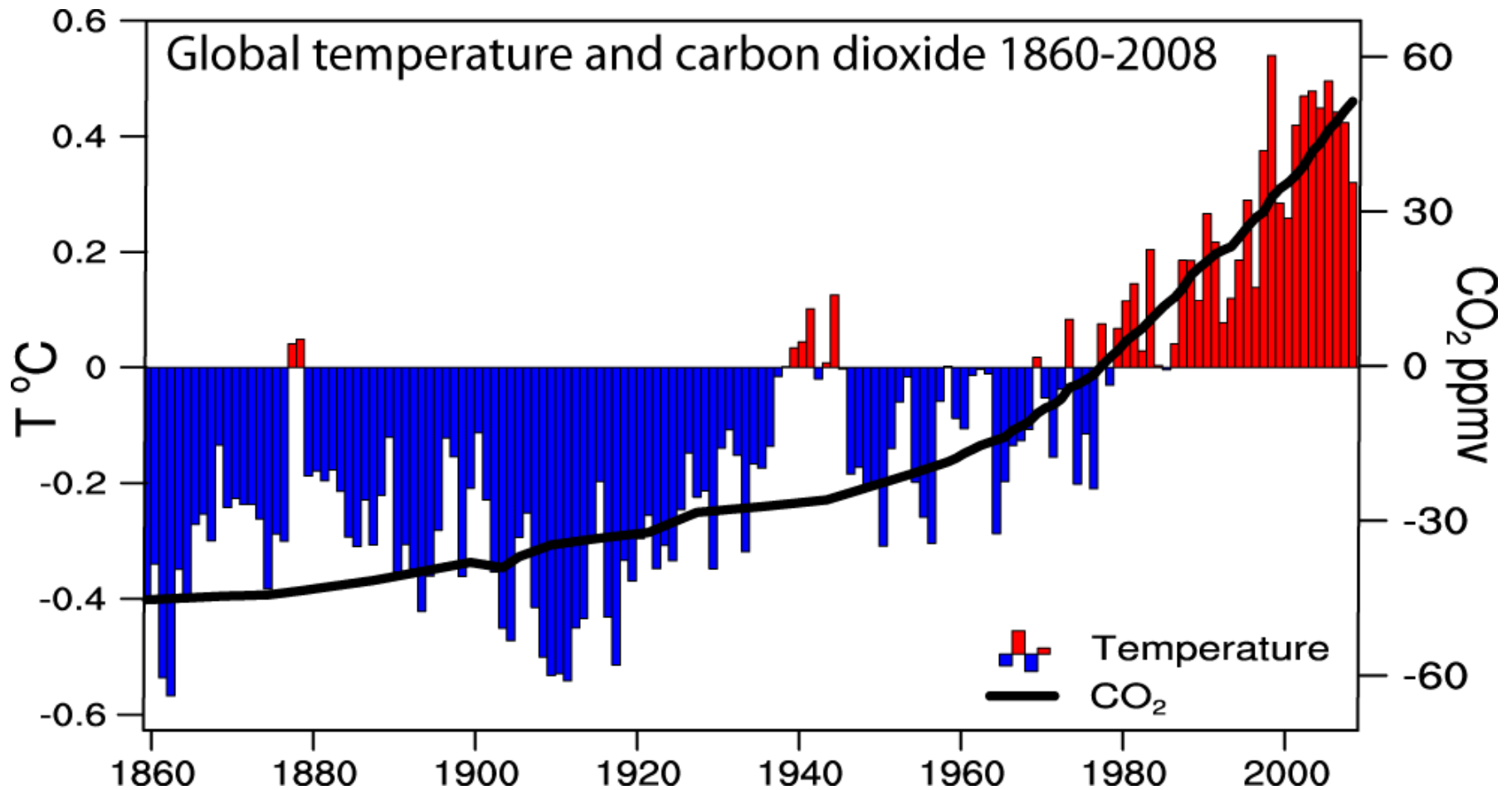
Atmosphere

Geosphere

Las concentraciones atmosféricas globales de los gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado marcadamente como resultado de las actividades humanas desde 1750 y actualmente exceden los valores pre-industriales



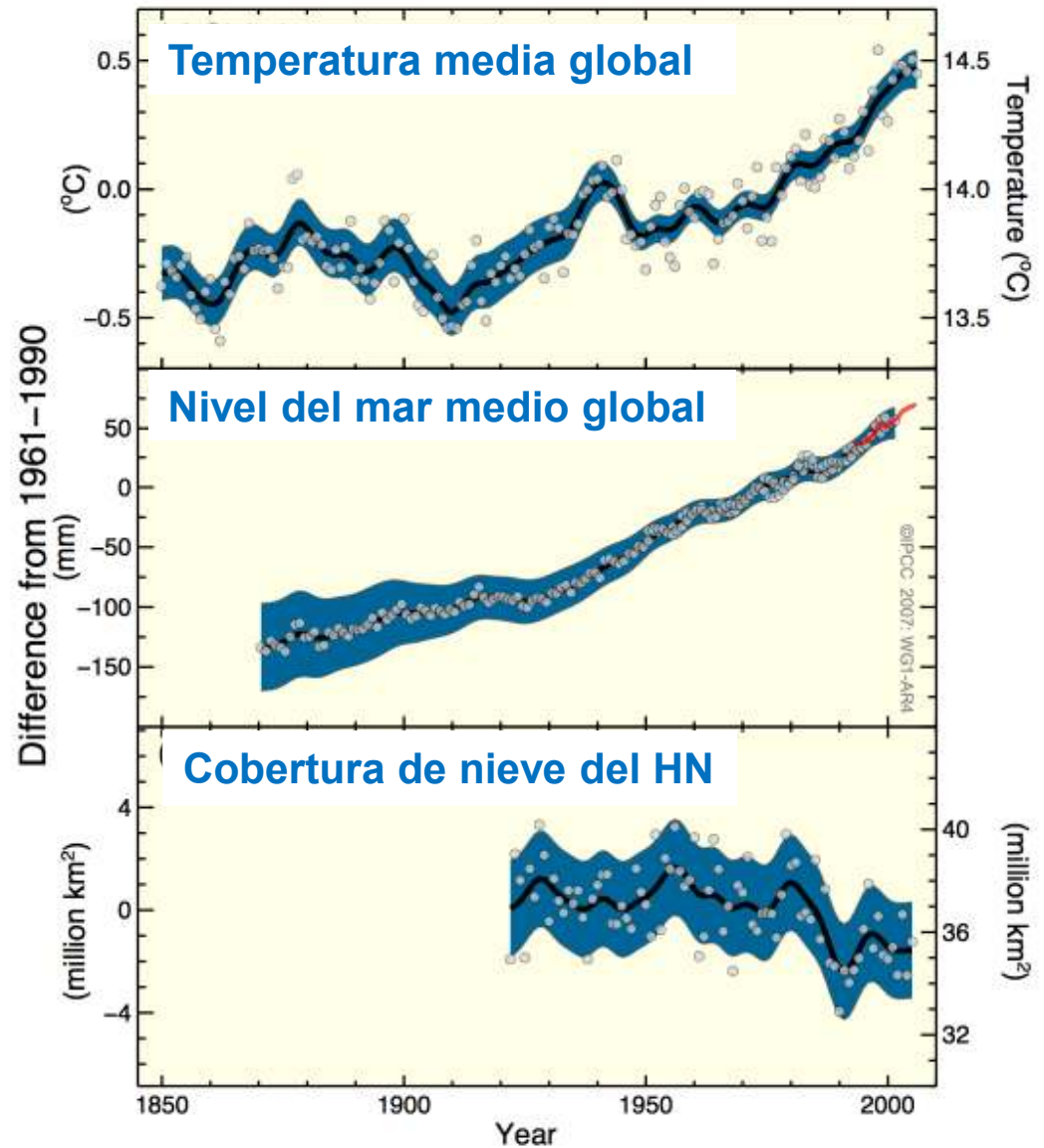
# Temperaturas globales y CO<sub>2</sub>



# Observaciones Directas de Cambios Climáticos Recientes

Cambios recientes en el sistema climático son evidentes de las observaciones

IPCC/AR4, 2007



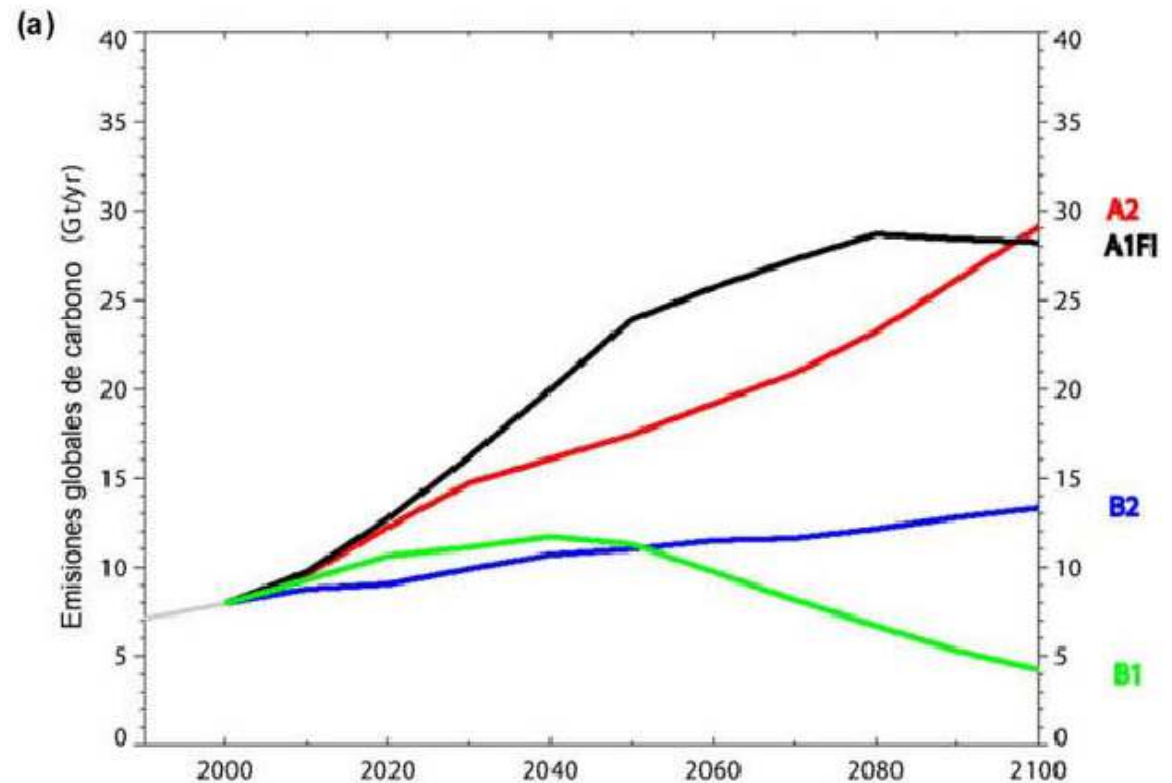
## ¿Qué son los escenarios o proyecciones de cambio climático futuros?

Son representaciones acerca del clima futuro consistentes con suposiciones de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes

(No son predicciones del clima)

Las proyecciones de cambio climático se basan en suposiciones sobre la forma en que la sociedad continuará emitiendo gases de efecto invernadero (GEI)

**Los diferentes escenarios de emisión de GEI se asocian entonces a diferentes escenarios socioeconómicos y de desarrollo tecnológico**



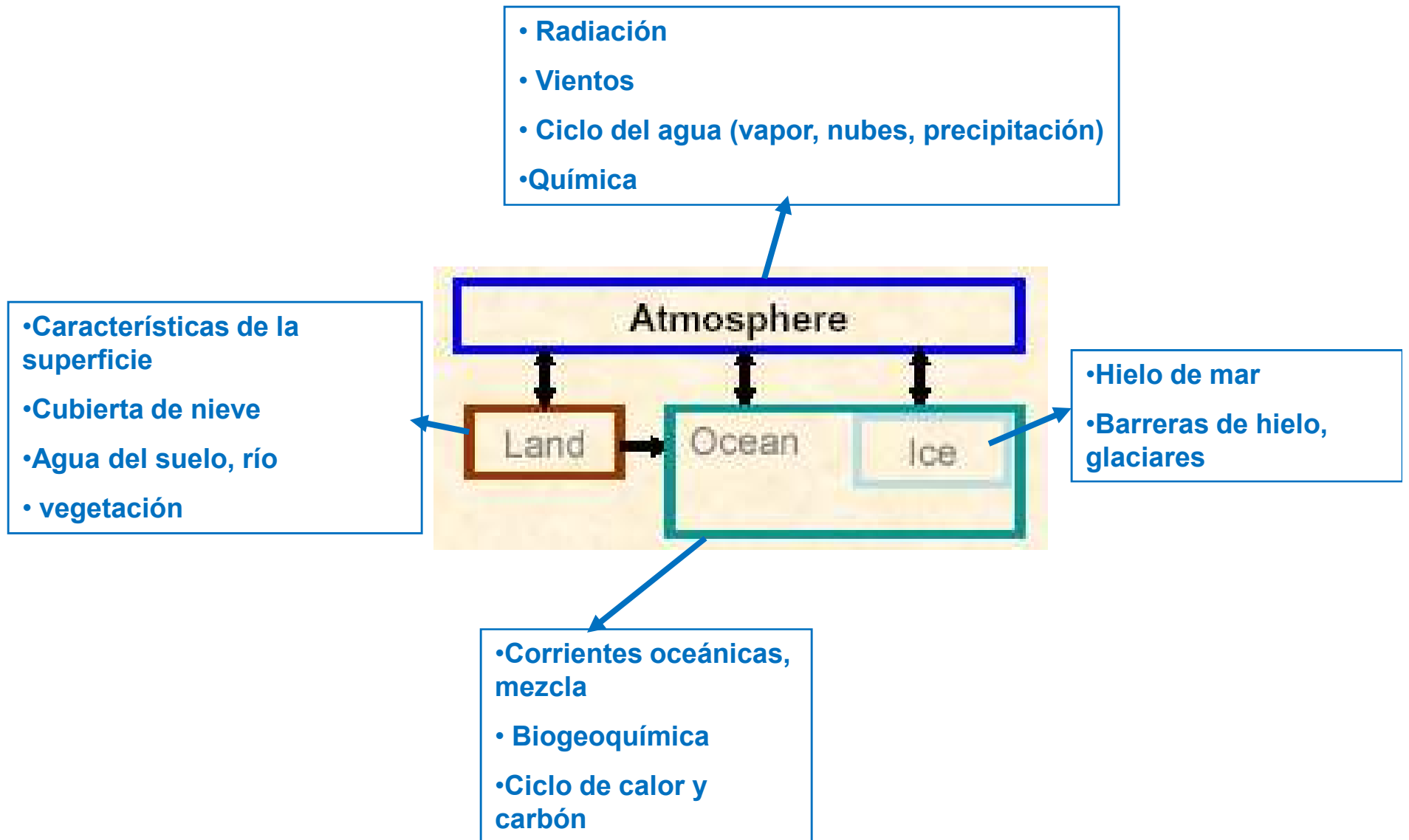
# Proyecciones globales de cambio climático (1/3)

Los modelos climáticos globales (MCGs) son representaciones numéricas de las ecuaciones fundamentales que describen el comportamiento del sistema climático y las interacciones a través de sus componentes (Atmósfera-Océanos, Criosfera, Biosfera).

Los MCGs simulan la evolución temporal del clima mediante el uso de grandes computadoras.



# MODELOS CLIMATICOS GLOBALES



# Proyecciones globales de cambio climático (2/3)

Las proyecciones globales de cambio climático requieren de información combinada de un gran conjunto de simulaciones de diferentes MCGs y diferentes escenarios socioeconómicos.

# Proyecciones globales de cambio climático (3/3)

Para la mayoría de los países del mundo el cómputo de tales proyecciones supera las capacidades nacionales.

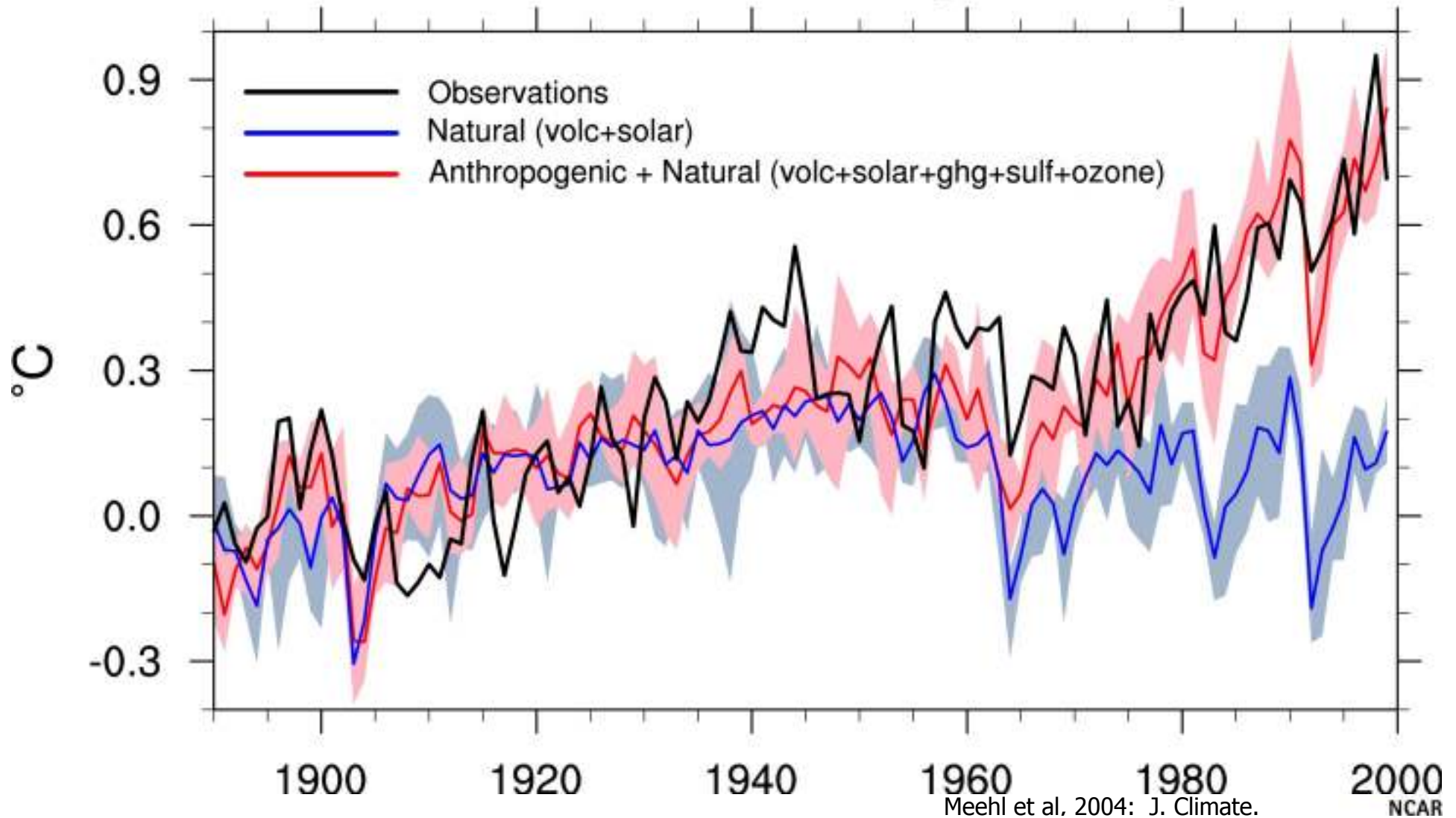
**Colaboraciones internacionales son  
indispensables**

## Proyecciones globales de cambio climático abiertas al mundo

- El programa Mundial de Investigaciones Climáticas (World Climate Research Programme) coordinó el proyecto WCRP/CMIP3 que en el 2005 produjo el conjunto de simulaciones numéricas del clima presente y futuro necesario para el cuarto informe del IPCC
- 24 Modelos Climáticos Globales de (Australia, Canadá, China, Francia, Alemania, Japón, Noruega, Rusia, Gran Bretaña, y USA)
- Uso masivo mundial. Entre 2005 y 2008:
  - Más de 2000 usuarios de países de todo el mundo
  - Más de 300 publicaciones
  - Más de 170 Terabytes de información

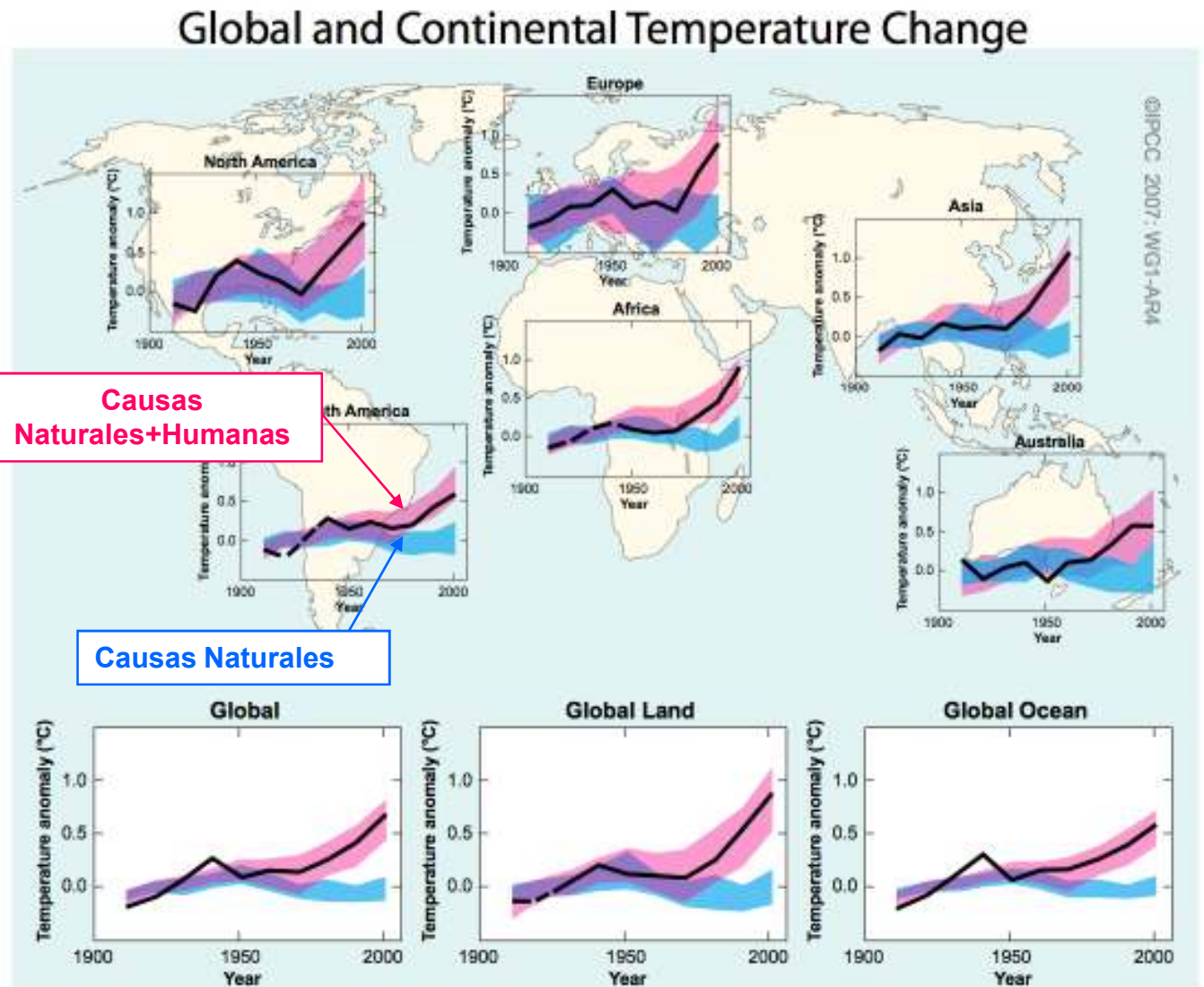
Los modelos climáticos globales confirmaron que las variaciones naturales del clima no explican el calentamiento global observado en el siglo 20

Global Temperature Anomalies  
from 1890-1919 average



# Atribución del Cambio Climático

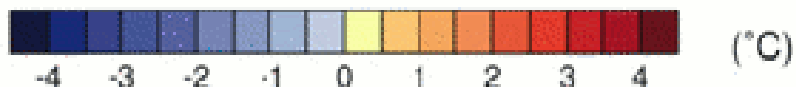
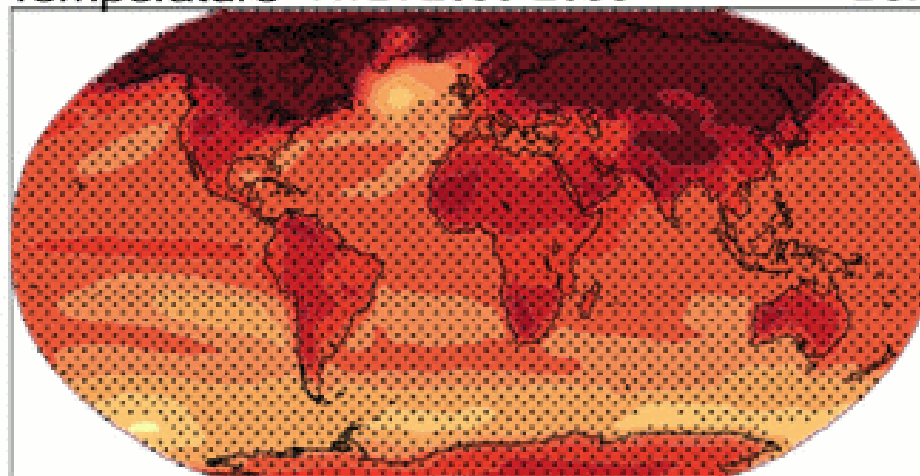
La base de datos multi-modelos del WCRP CMIP3 permitió comprobar la significativa contribución antropogénica al calentamiento global observado en los últimos 50 años



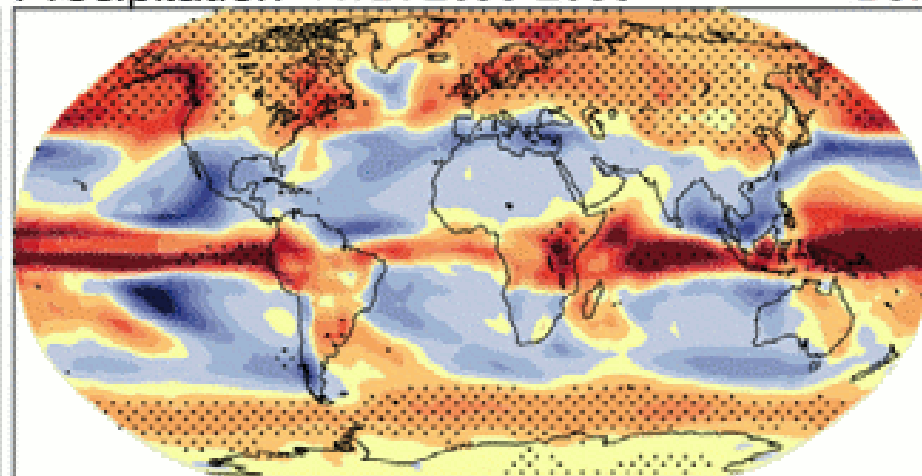


# Proyecciones globales de cambio climático

Temperature A1B: 2080-2099



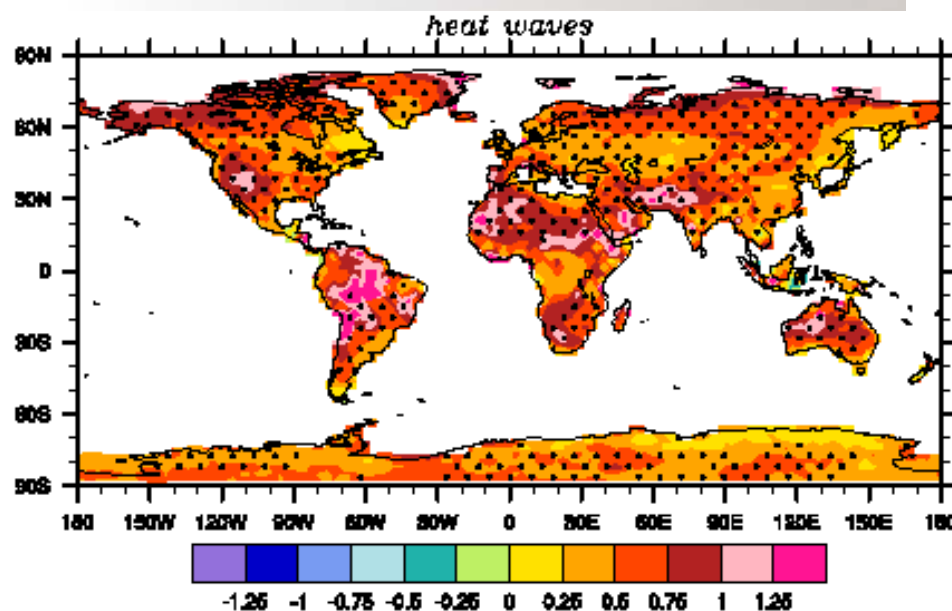
DJF Precipitation A1B: 2080-2099



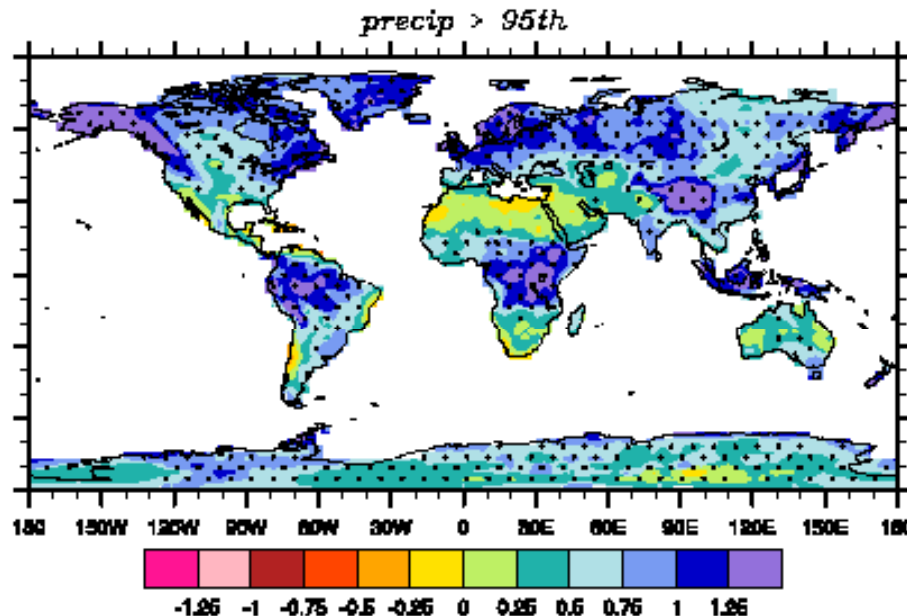
Cambios relativos de temperatura y precipitación para el período 2080-2099 relativos a 1980-1999 basados en el escenario A1B

# Proyecciones de cambio climático de eventos extremos

Olas de calor



Lluvias intensas



Promedios multi-modelos de patrones espaciales de cambio en escenario A1B.

Diferencias entre períodos (2080–2099) menos (1980–1999).

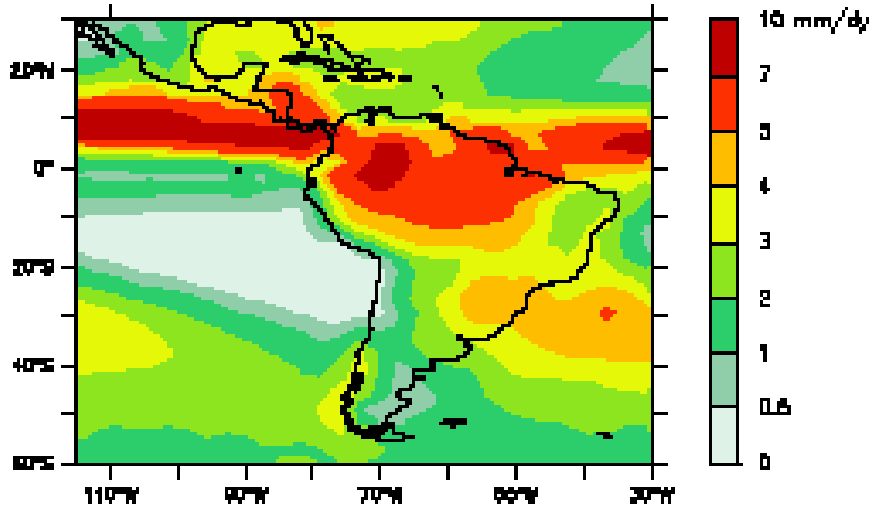


# Limitaciones de los actuales escenarios climáticos:

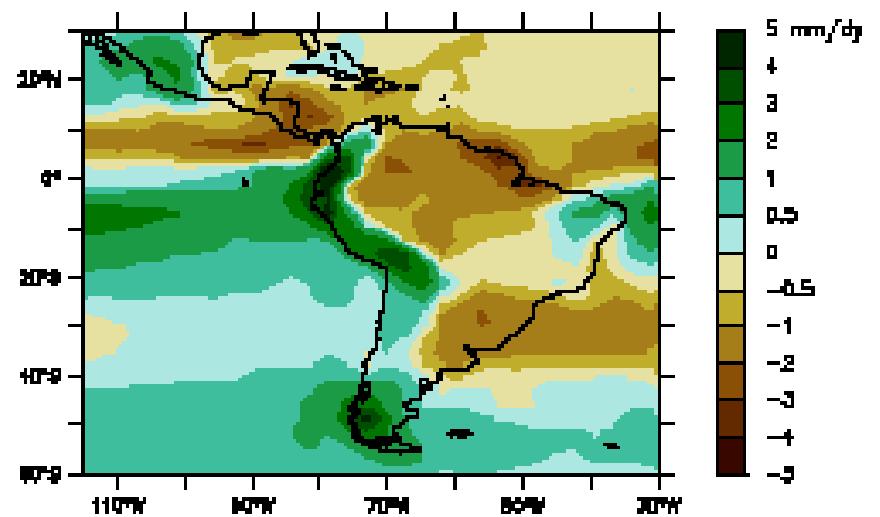
- Los actuales modelos climáticos tienen limitaciones en representar correctamente patrones climáticos como la cantidad de lluvia en las regiones continentales, la sequedad de los desiertos, la actividad de las tormentas de latitudes medias, etc.
- Tales deficiencias limitan la calidad de las proyecciones climáticas regionales que todavía exhiben un rango de incertidumbres que necesita ser reducido

# Limitaciones de los actuales escenarios climáticos regionales

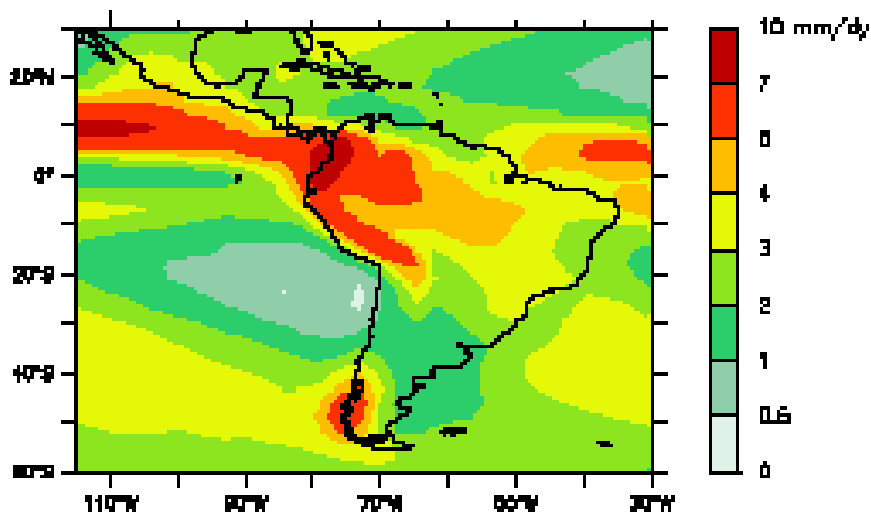
### OBSERVACIONES



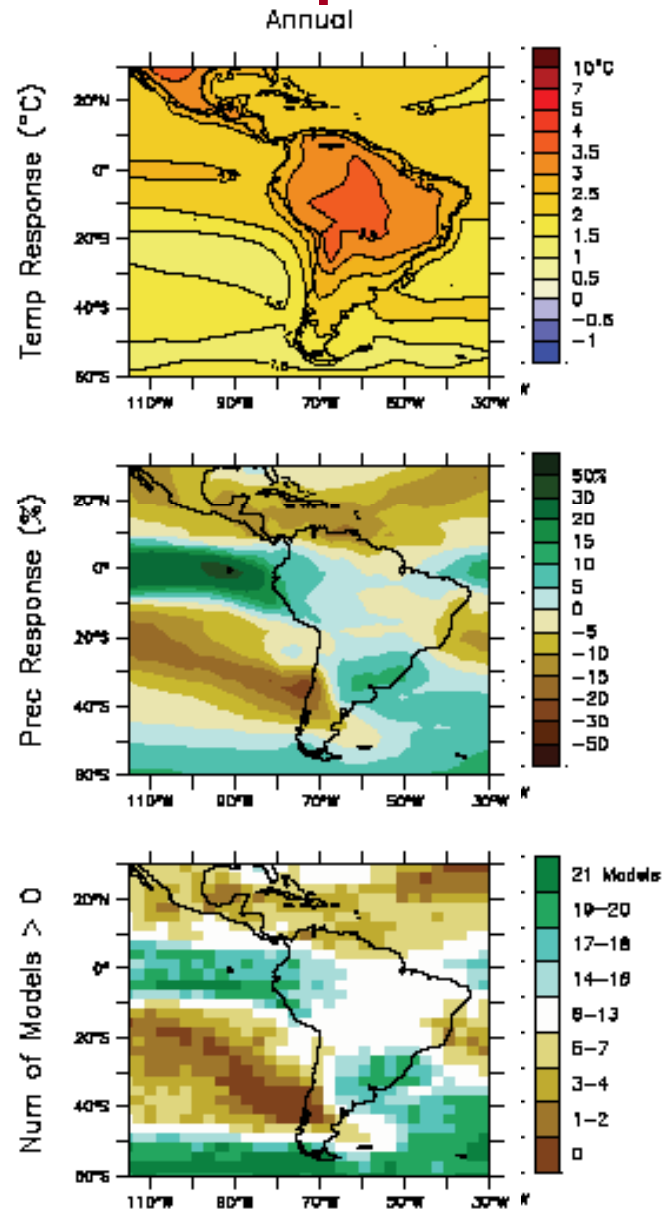
### ERROR DE LOS MODELOS CLIMATICOS



### MODELOS CLIMATICOS



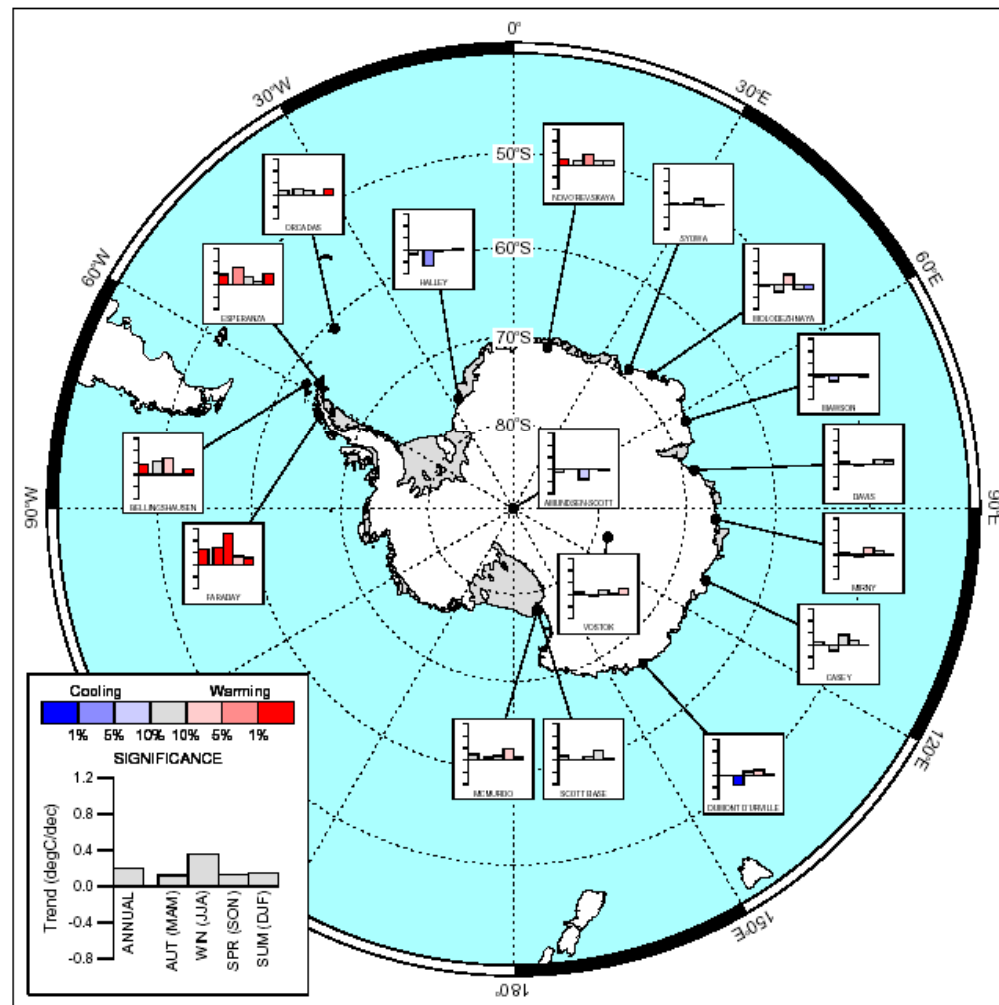
# Proyecciones de cambios climáticos a partir del promedio de todos los modelos para fines del siglo 21



# **TENDENCIAS CLIMÁTICAS OBSERVADAS EN LA ANTÁRTIDA DURANTE EL SIGLO 20**

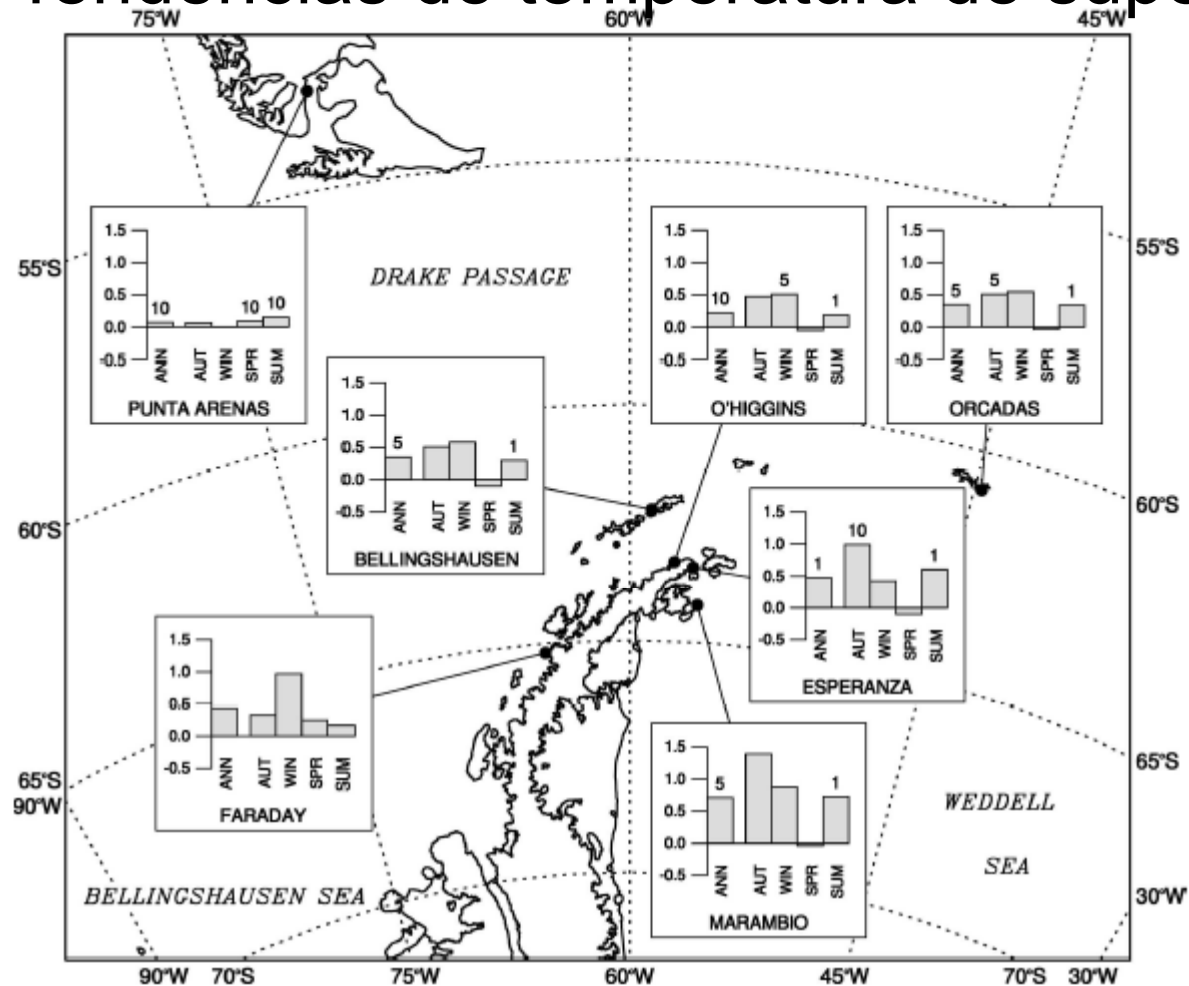
# Tendencias de temperatura de superficie (1951-2006)

(Mínimo de datos requeridos: 35 años)



<http://www.antarctica.ac.uk/met/gjma/temps.html>

# Tendencias de temperatura de superficie



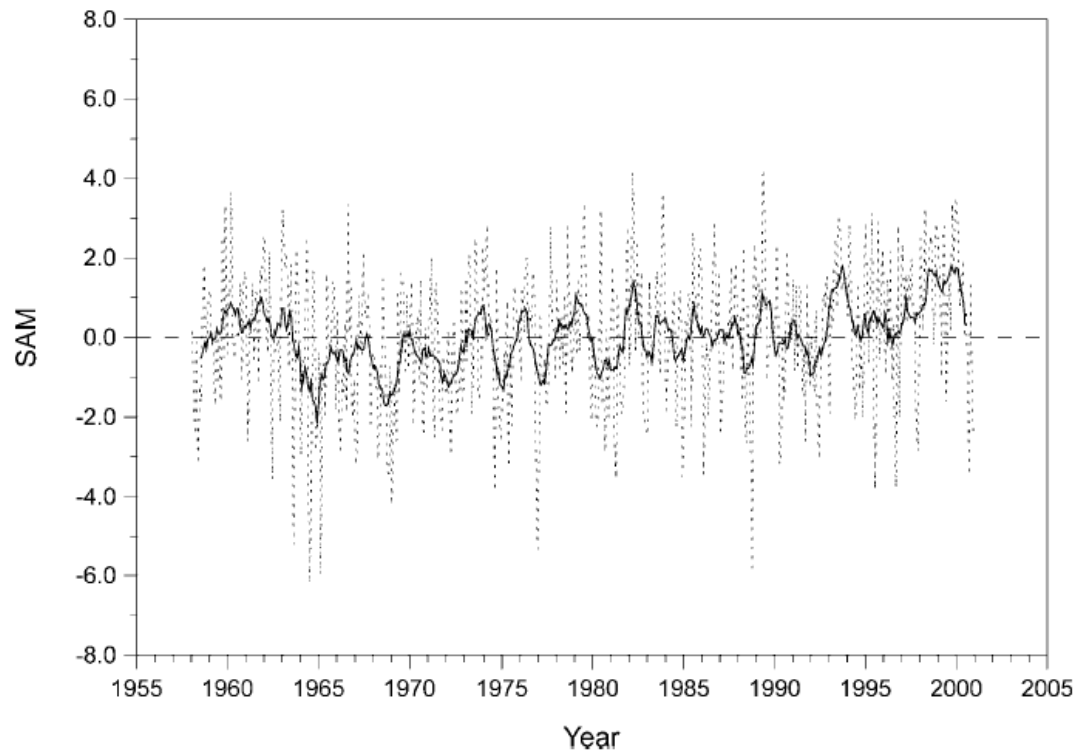
Tendencias anuales y estacionales de la temperatura de superficie (1965–2000, Bellingshausen (1968–2000) y Marambio (1970–2000). Unidades °C/década. Los valores son mostrados si la tendencia es significativa al 1%, 5%, o 10%

(Marshall et al. 2006)

## Tendencias del SAM

Índice SAM calculado a partir de observaciones mensuales (línea sólida, aplicando un filtro de 12 meses).

(Marshall 2003)



Annual	Autumn (MAM)	Winter (JJA)	Spring (SON)	Summer (DJF)
+1.08 ± 0.36*	+0.93 ± 0.29*	-0.04 ± 0.50	+0.32 ± 0.52	+1.11 ± 0.44*

Tendencias anuales y estacionales del SAM (1965-2000).  
 Unidades: 1/década. \*: Tendencias significativas (< 1%)

(Marshall et al. 2006)

# Relación entre el SAM y las anomalías de T de superficie en la Península Antártica

Stations	Annual		Autumn (MAM)		Winter (JJA)		Spring (SON)		Summer (DJF)	
Bellingshausen	0.46*	(0.23)	0.52*	(0.36)	0.42**	(0.45)	0.08	(0.04)	0.12	(0.03)
Esperanza	0.28***	(0.18)	0.40*	(0.52)	0.35*	(0.42)	0.16	(0.12)	0.47*	(0.21)
Faraday	0.00	(0.00)	0.10	(0.08)	0.13	(0.21)	-0.27***	(0.23)	-0.12	(0.04)
Marambio	0.44**	(0.28)	0.47*	(0.76)	0.28	(0.43)	0.37***	(0.34)	0.36***	(0.15)
O'Higgins	0.49*	(0.20)	0.54*	(0.40)	0.33**	(0.29)	0.16	(0.08)	0.25	(0.07)
Orcadas	0.33**	(0.18)	0.44*	(0.37)	0.32**	(0.41)	0.10	(0.07)	0.29***	(0.04)
Punta Arenas	0.48*	(0.11)	0.04	(0.01)	0.37**	(0.15)	0.23	(0.06)	0.16	(0.05)

Correlaciones anuales y estacionales y valores absolutos de las regresiones (en paréntesis en °C/unidad de cambio de SAM) entre la serie sin tendencia del SAM y las anomalías de T de superficie sin tendencia (1958-2000, Bellingshausen 1968-2000, Marambio 1970-2000). Correlaciones significativas \* <1%, \*\* < 5%, y \*\*\* < 10%.

(Marshall et al. 2006)



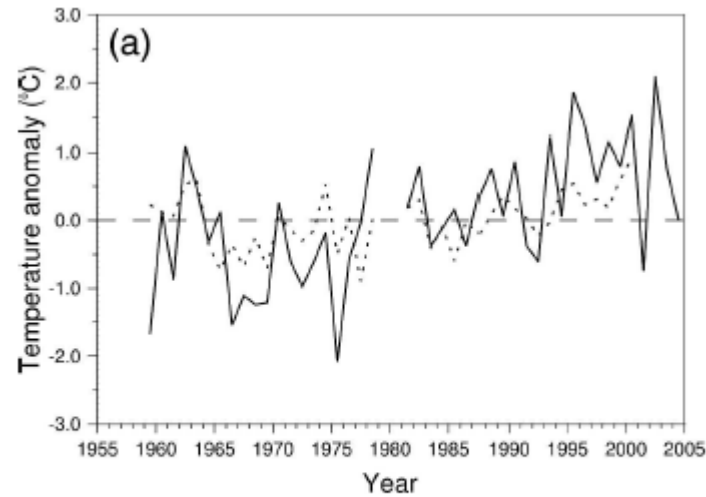
# Contribución de cambios del SAM al calentamiento en la Península Antártica

Stations	Annual		Autumn (MAM)		Winter (JJA)		Spring (SON)		Summer (DJF)	
Bellingshausen	0.26	(74)	0.36	(71)	0.03	(5)	0.02	(-19)	0.03	(10)
Esperanza	0.19	(40)	0.49	(49)	-0.01	(-2)	0.04	(-40)	0.23	(35)
Faraday	0.00	(0)	0.08	(25)	-0.01	(-1)	-0.07	(-28)	-0.04	(-22)
Marambio	0.30	(42)	0.68	(49)	0.07	(8)	0.13	(-361)	0.16	(22)
O'Higgins	0.21	(93)	0.38	(80)	-0.01	(-2)	0.03	(-60)	0.08	(38)
Orcadas	0.19	(55)	0.35	(68)	-0.01	(-2)	0.02	(-51)	0.05	(13)
Punta Arenas	0.12	(167)	0.01	(15)	0.00	(0)	0.02	(22)	0.06	(20)

Contribución estimada del SAM a los cambios anuales y estacionales por década y el % del cambio de la temperatura de superficie total (en paréntesis) causada por la tendencia positiva en el SAM. Aumentos de T están en °C/década. Valores de % negativos indican que los cambios de T producidos por el SAMM son opuestos al cambio observado general.

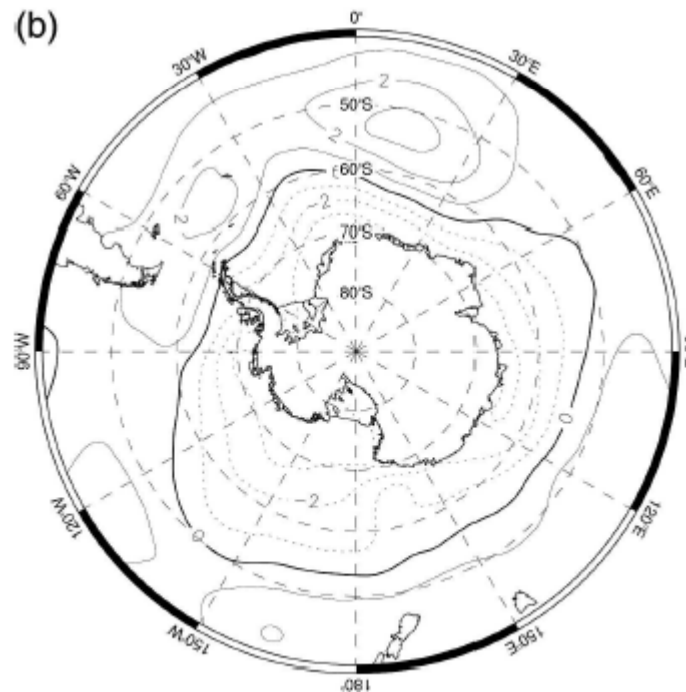
(Marshall et al. 2006)

(sólida) Cambio en la T de verano de Esperanza y (punteado) las variaciones explicadas por la tendencia en el SAM (basada en los datos sin tendencia)



Diferencias de pnm entre el tercio de veranos más calientes y más fríos en Esperanza basados en los datos sin tendencia.

(1979-2000)



(Marshall et al. 2006)

# Relación entre el SAM y las T troposféricas en el mar de Bellinghausen

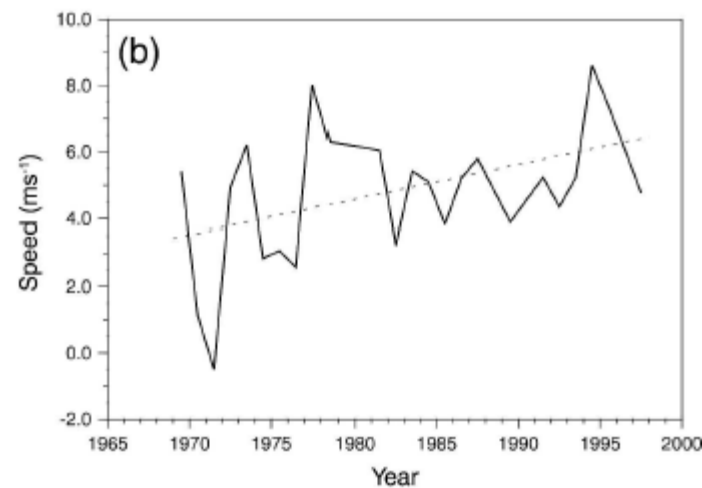
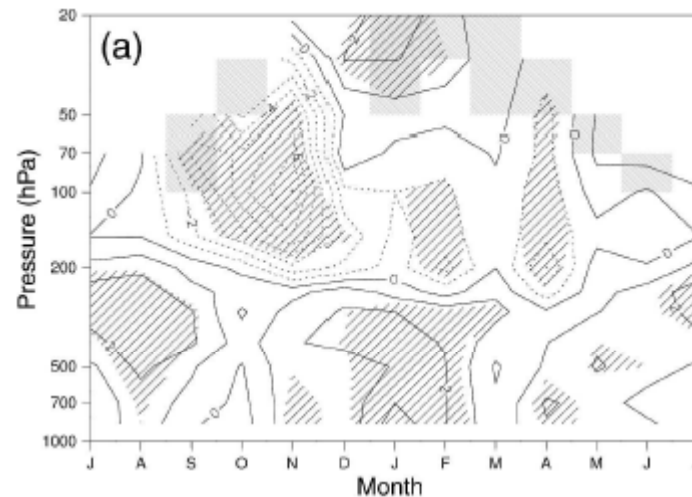
Cambios en los datos de radiosondeo en Bellinghausen (1968-1999)

(a) Temperatura (°C). Series con >50% de los datos se incluyen.

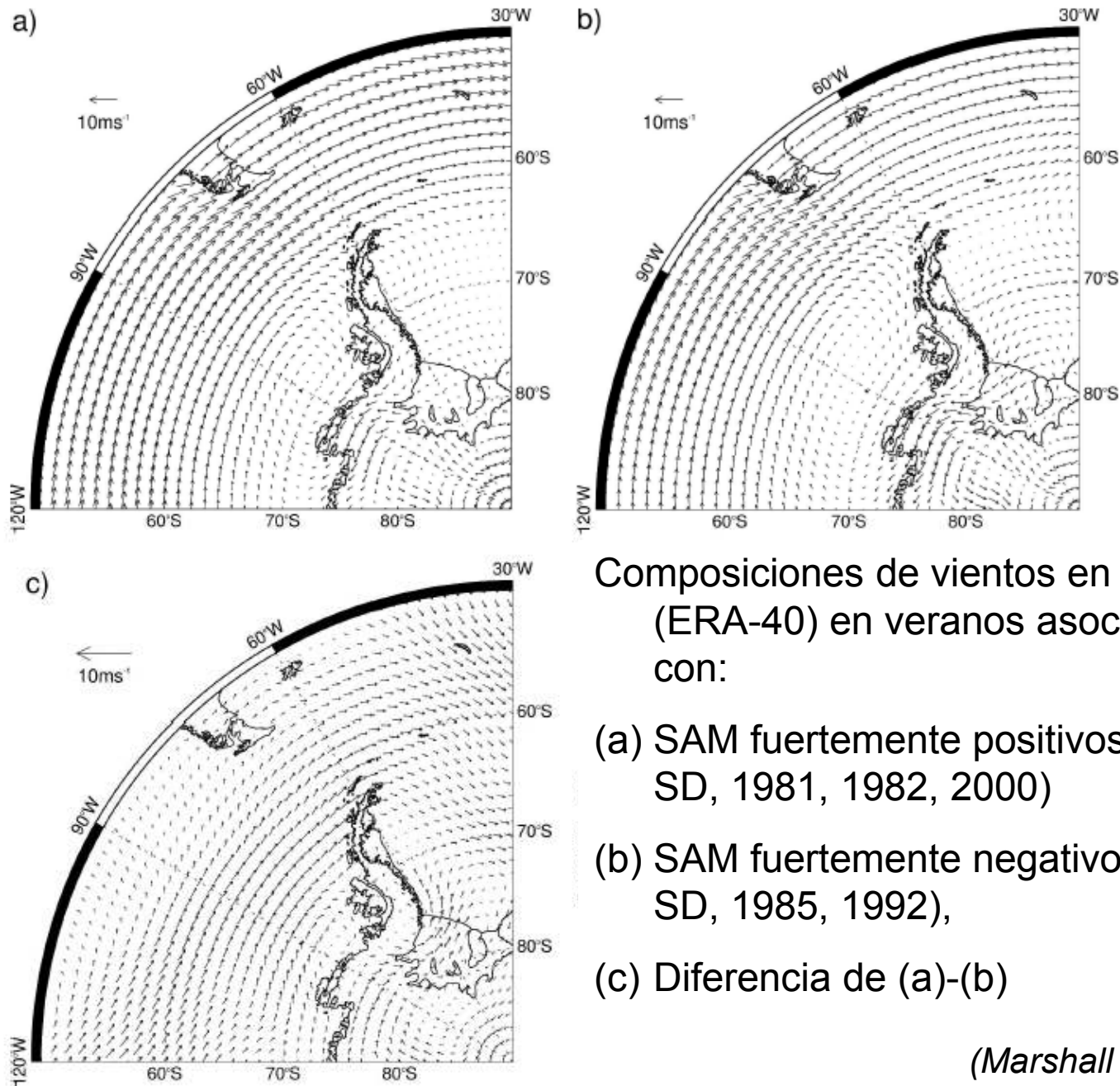
(Sombreado) Series con <75% de los datos estratosféricos.

(Rayados) cambios > que 1 SD

(b) Datos de viento zonal en 850 hPa en verano. (punteado) tendencia



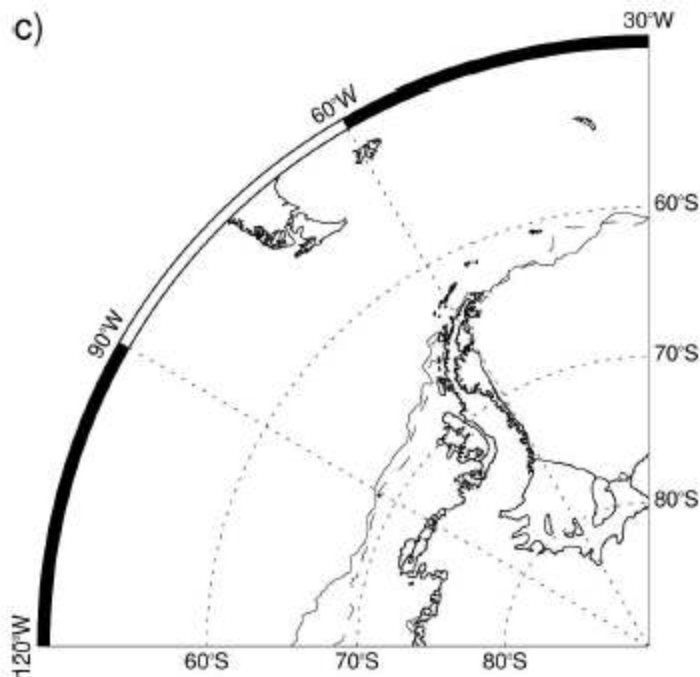
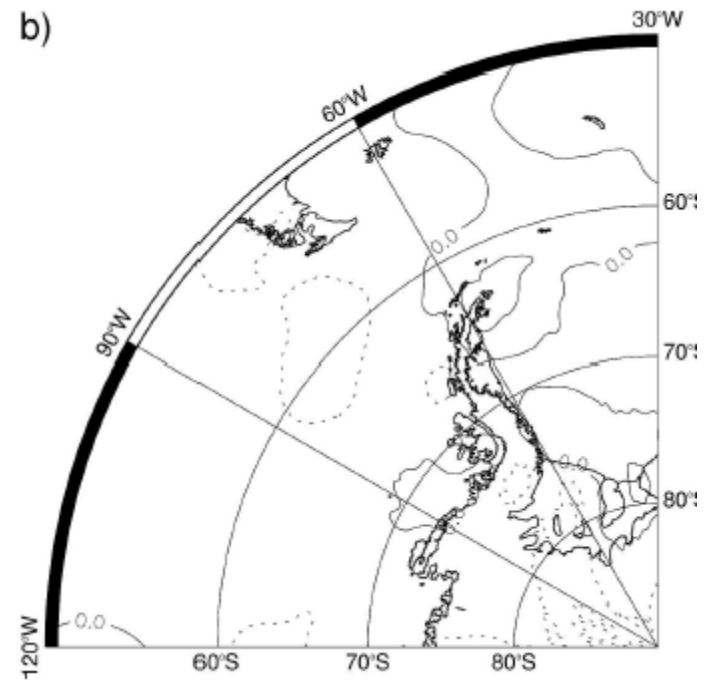
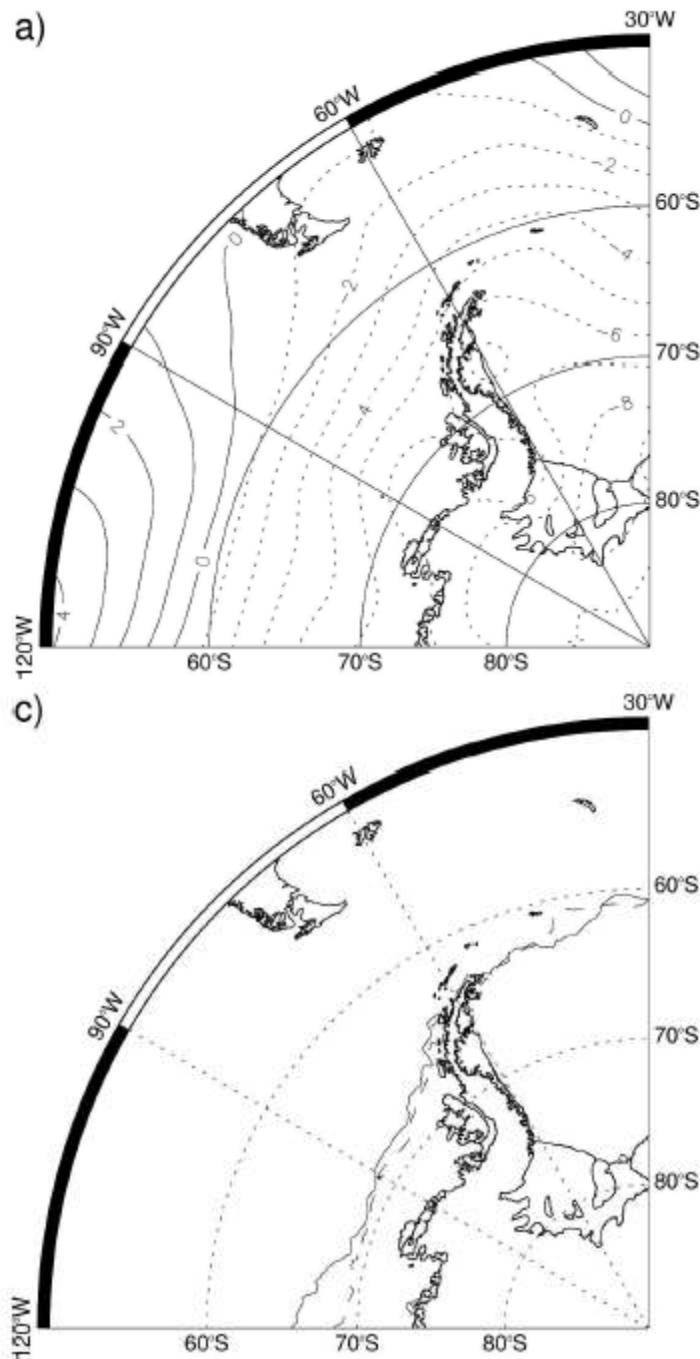
(Marshall et al. 2006)



Composiciones de vientos en 10 m (ERA-40) en veranos asociados con:

- (a) SAM fuertemente positivos ( $> 2$  SD, 1981, 1982, 2000)
- (b) SAM fuertemente negativos ( $< -2$  SD, 1985, 1992),
- (c) Diferencia de (a)-(b)

(Marshall et al. 2006)



Diferencias entre las composiciones de veranos asociados con SAM fuertemente positivos y SAM fuertemente negativos para:

- (a) PNM (hPa)
- (b) T de sup. (°C)
- (c) Extensión de hielo marino para (sólida) SAM (+) y (cortada) SAM (-)

(Marshall et al. 2006)

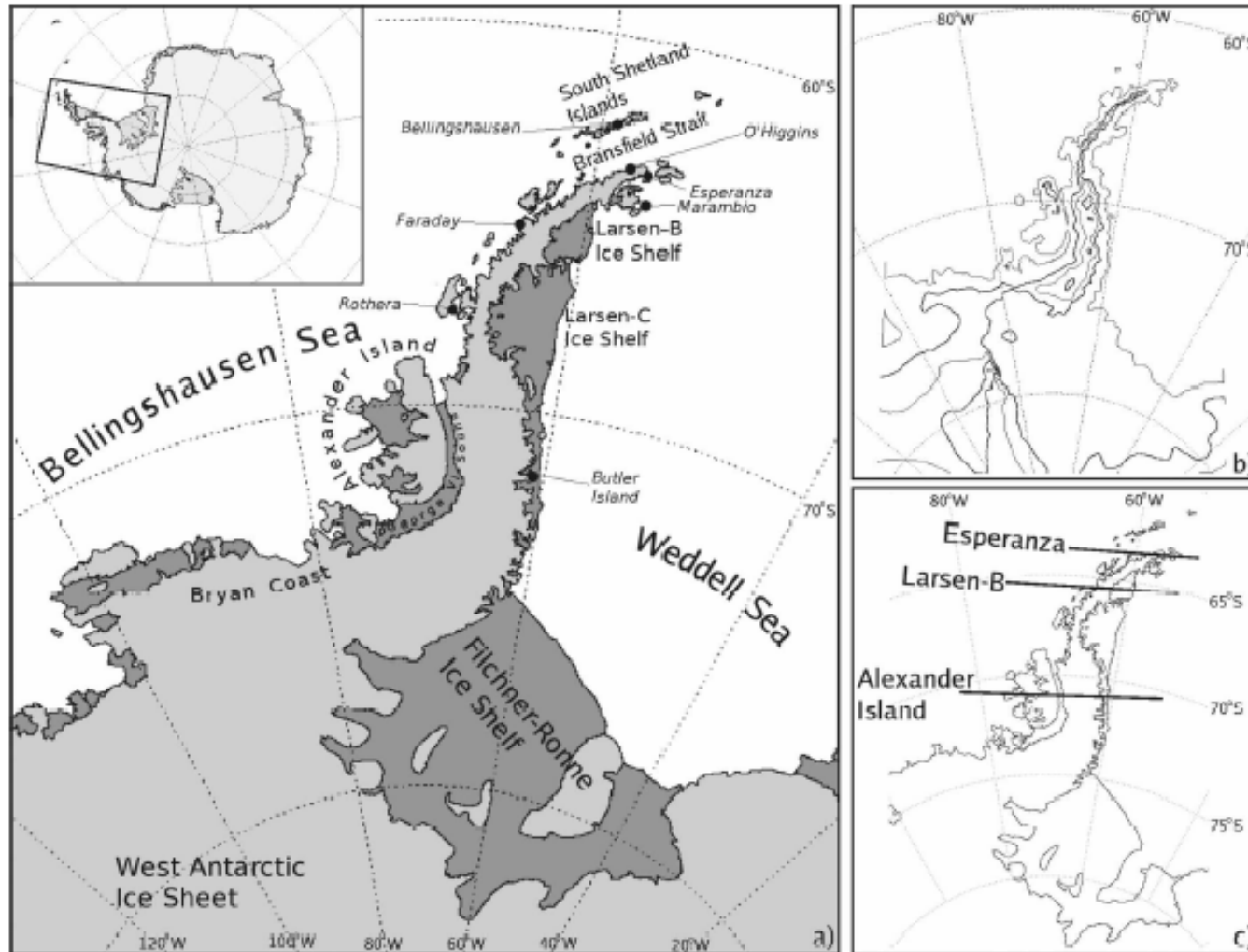
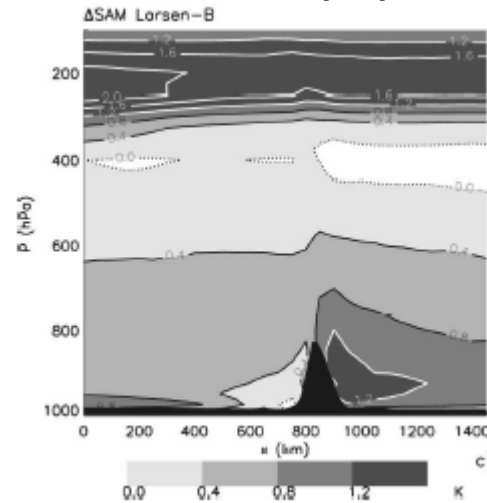
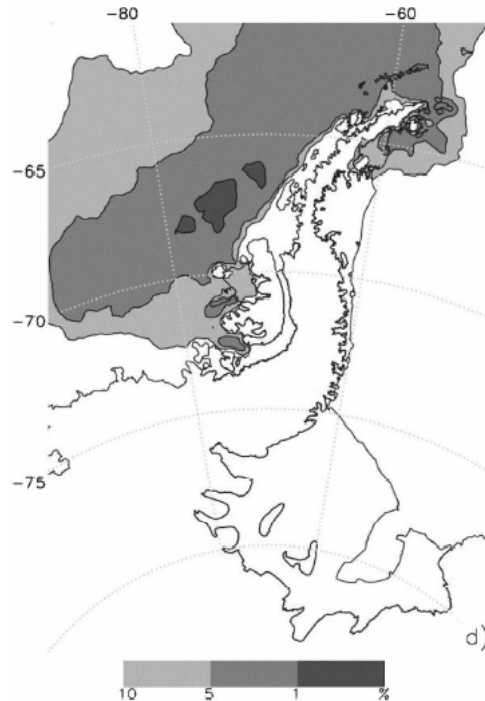


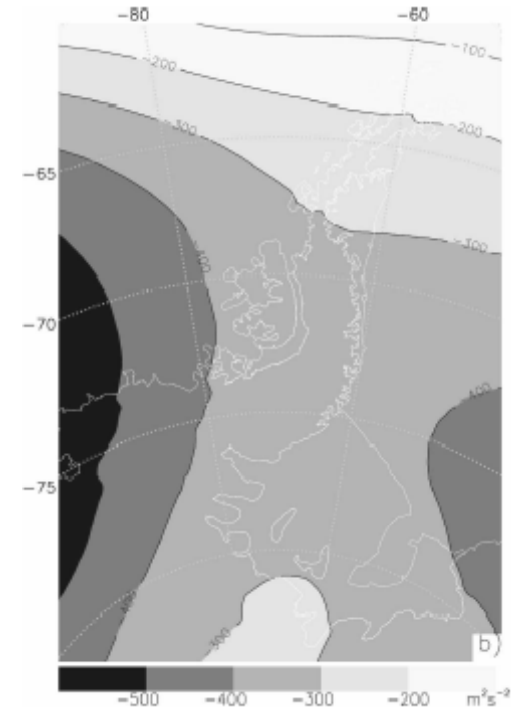
FIG. 1. (a) Domain covered by the regional model RACMO14 and regions and stations mentioned in the text. The inset shows the model domain of the host model RACMO55 (entire Antarctic continent and parts of the Southern Ocean) and the RACMO14 domain (square over the AP). (b) Model surface elevation of the AP. Contours are plotted at surface elevations of 50 m and 1.5 km (thin lines) and 1 and 2 km (thick lines). (c) Location of three different cross sections, through Esperanza, the Larsen-B Ice Shelf, and Alexander Island.

(Van Lipzig et al. 2008)

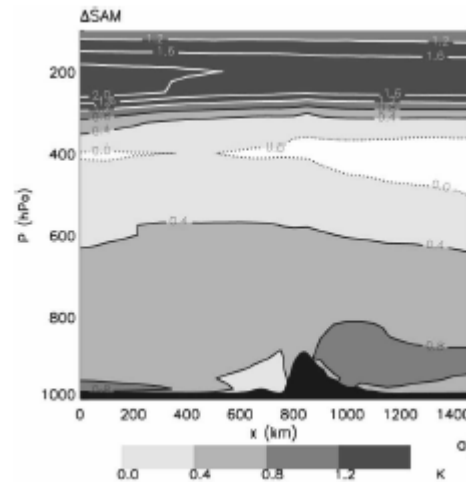
# Composiciones SAM (+) – SAM (-)



Temperatura Potencial (14km)



Alturas geopotenciales en 500 hPa



Temperatura Potencial (14km)

Regiones en las que las diferencias de T de superficie del verano correspondiente a difieren significativamente al <10%, <5%, y 1%.

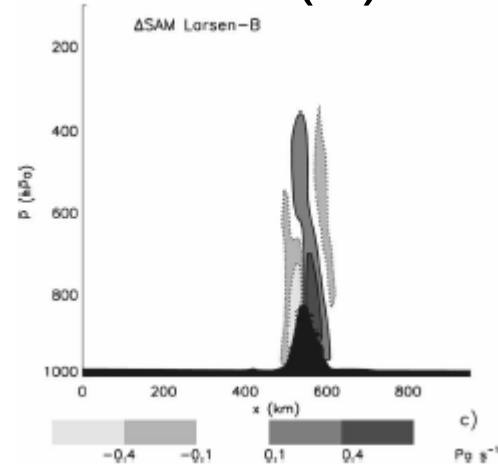
(Van Lipzig et al. 2008)

# Composiciones SAM (+) – SAM (-)

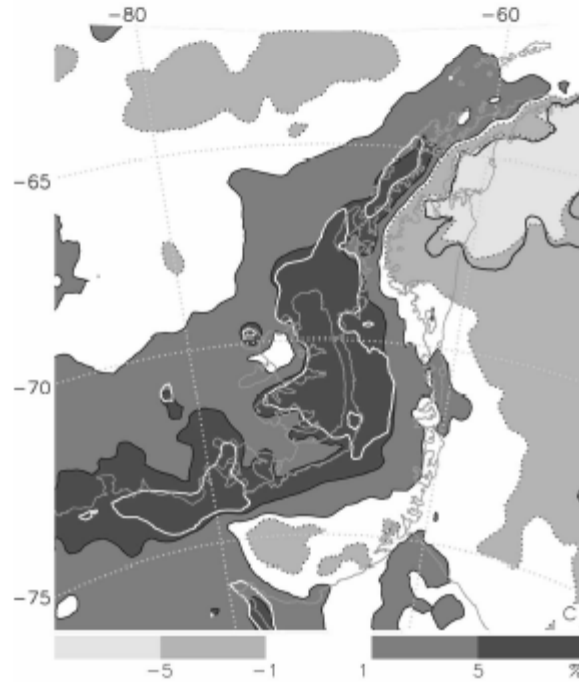
$\Delta$ SAM



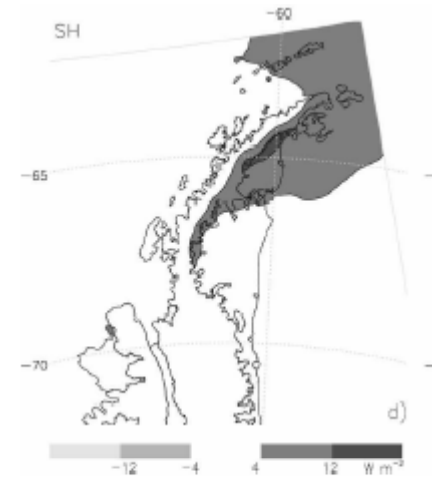
Vectores viento cerca de superficie



Velocidad vertical



Cobertura nubosa



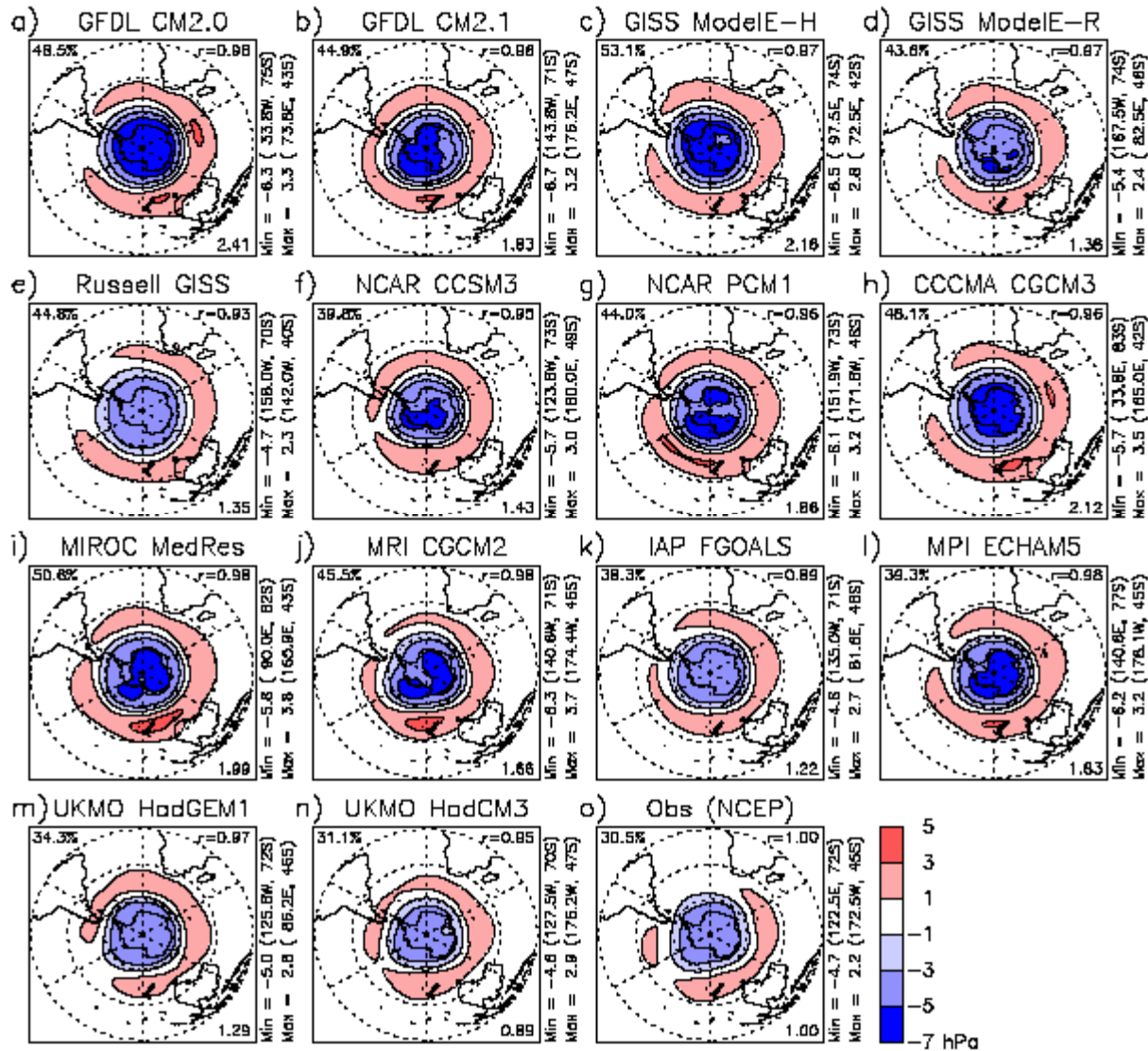
Flujos de calor sensible

(Van Lipzig et al. 2008)



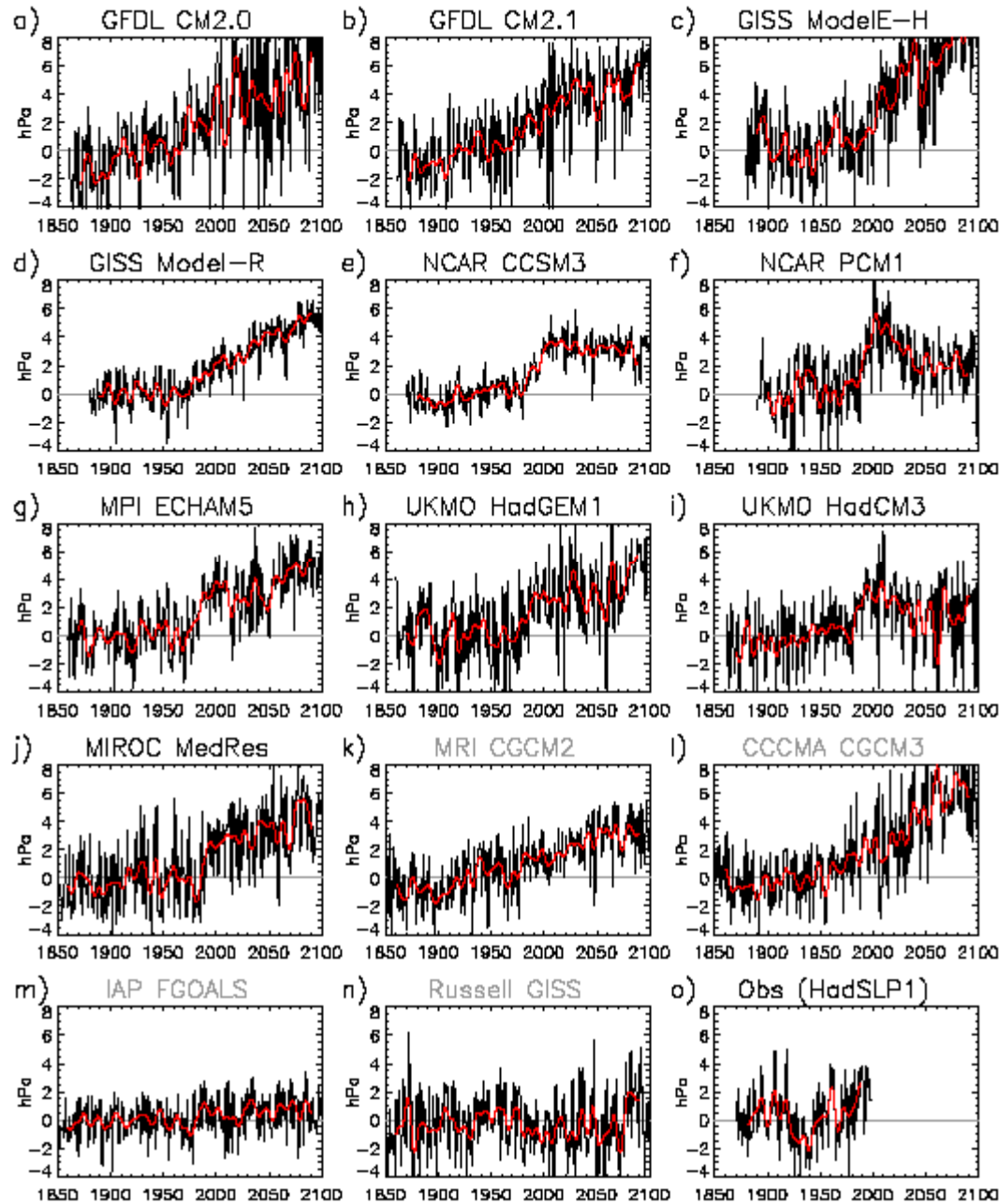
# MODELOS CLIMÁTICOS Y EL SAM

# Representación del SAM en los modelos WCRP/CMIP3 para el IPCC-AR4



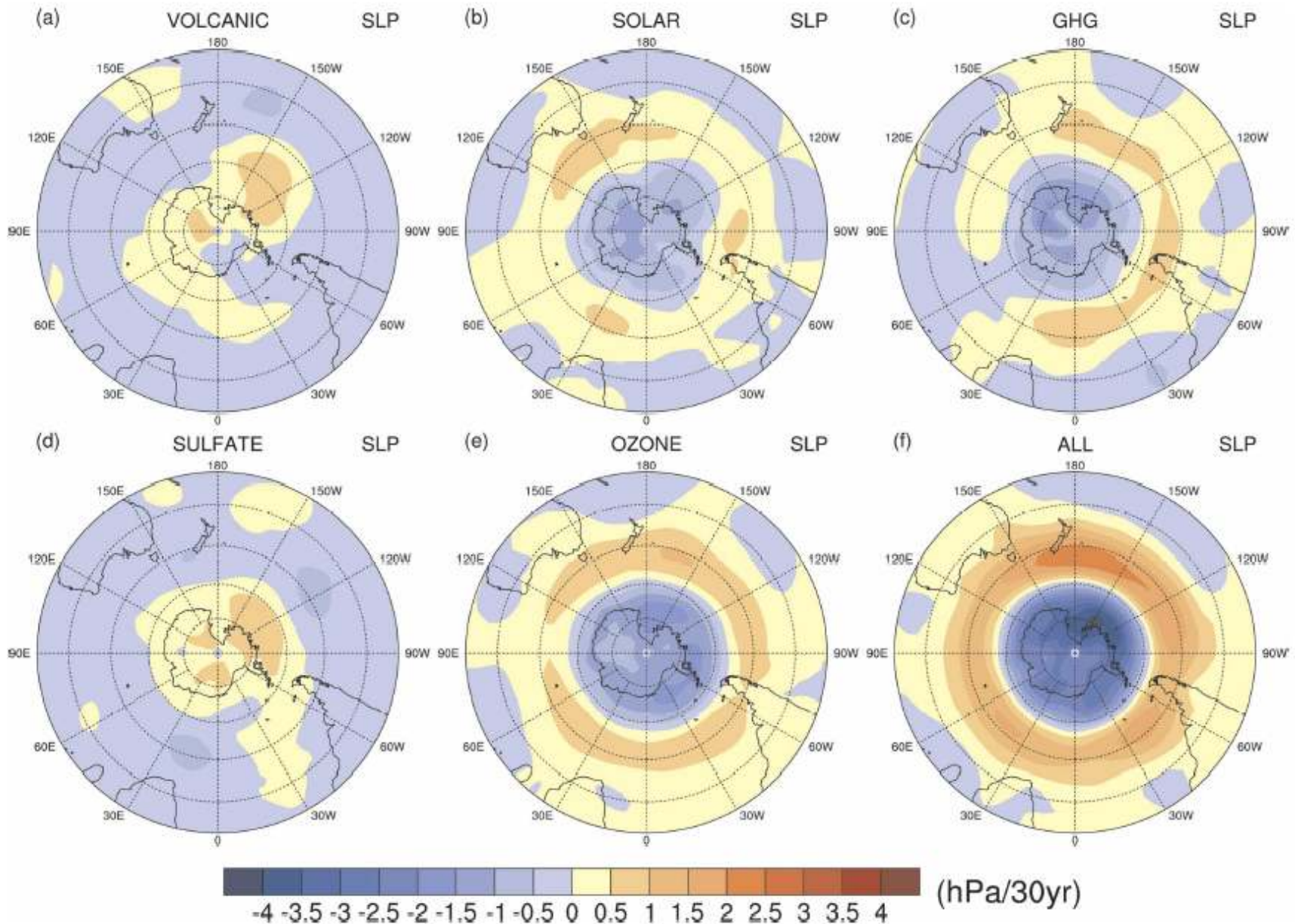
(Miller et al. 2006)

# Evolución del SAM por los modelos WCRP/CMIP3 para el IPCC-AR4



(Miller et al. 2006)

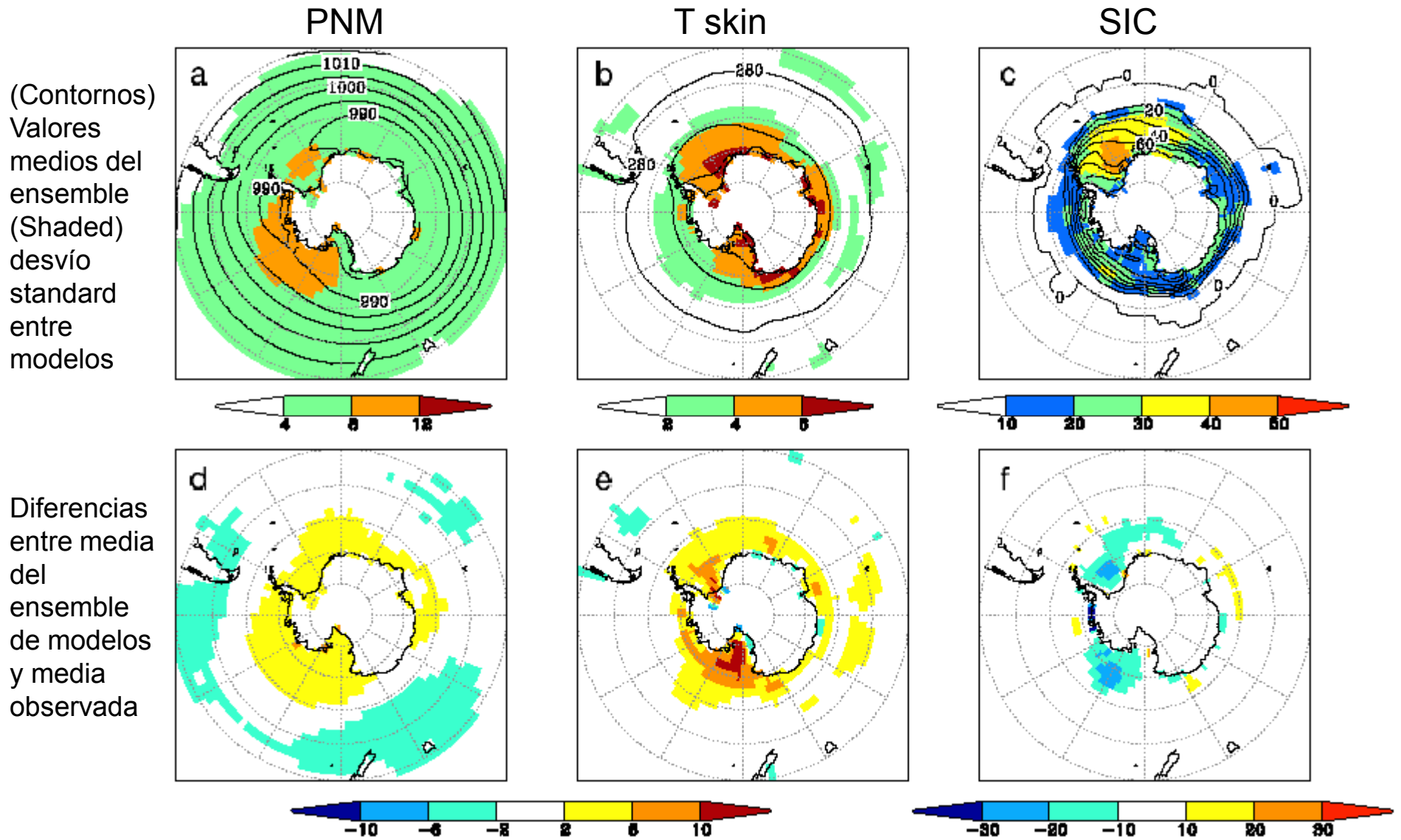
# Contribuciones de los forzantes externos a las tendencias del SAM



Tendencias en pnm (DJFMAM) medias del ensemble (período 1958-1999) de simulaciones con el modelo PCM

(Arblaster and Meehl 2006)

## Representación del clima presente (1970-1999) por modelos WCRP/CMIP3



(Carril et al. 2005)

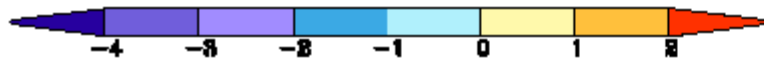
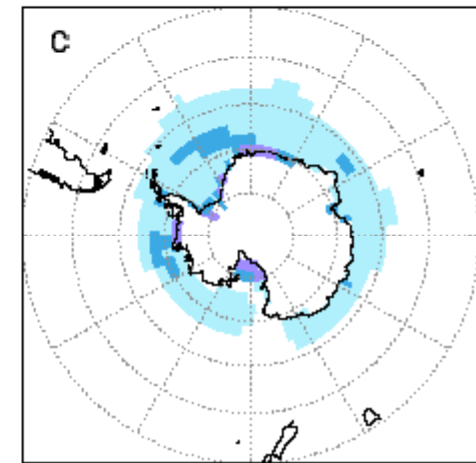
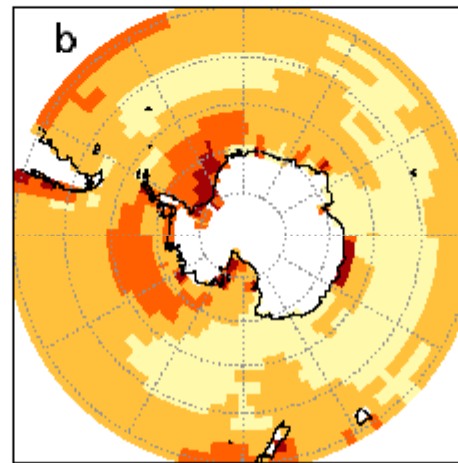
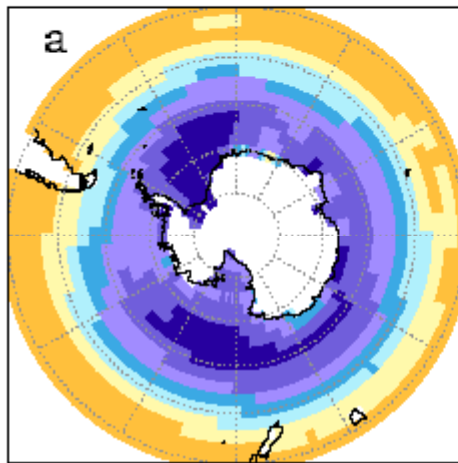


# PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMATICO (SRES A2)

PNM

T skin

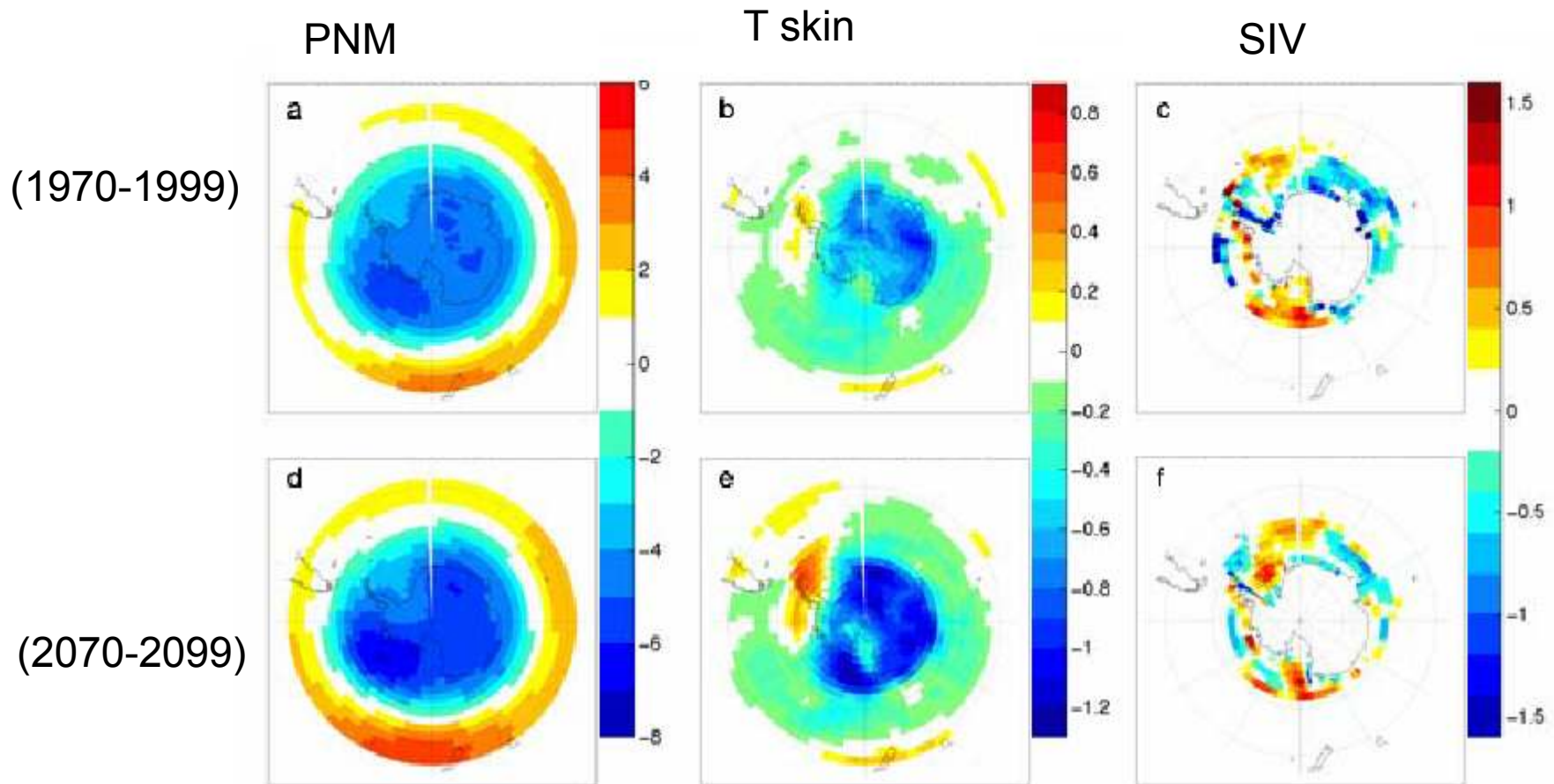
SIC



Diferencia entre las medias anuales (2070-2099) – (1970-1999)

(Carril et al. 2005)

## Composiciones de anomalías para SAM (+)



*(Carril et al. 2005)*

## Referencias

- Arblaster JM, Meehl GA (2006) Contributions of external forcings to southern annular mode trends. *J Climate*, 19, 2896–2904.
- Carril, A. F., C. G. Menendez, and A. Navarra (2005), Climate response associated with the Southern Annular Mode in the surroundings of Antarctic Peninsula: A multimodel ensemble analysis, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L16713, doi:10.1029/2005GL023581.
- Marshall, G. J., 2003: Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *J. Climate*, 16, 4134–4143.
- Marshall, G. J., A. Orr, N. P. M. van Lipzig, and J. C. King, 2006: The impact of a changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula summer temperatures. *J. Climate*, 19, 5388–5404.
- Van Lipzig, N. P. M., G. J. Marshall, A. Orr, and J. C. King, 2008: The relationship between the Southern Hemisphere annular mode and Antarctic Peninsula summer temperatures: Analysis of a high-resolution model *Climatology*. *J. Climate*, 21, 1649–1668.