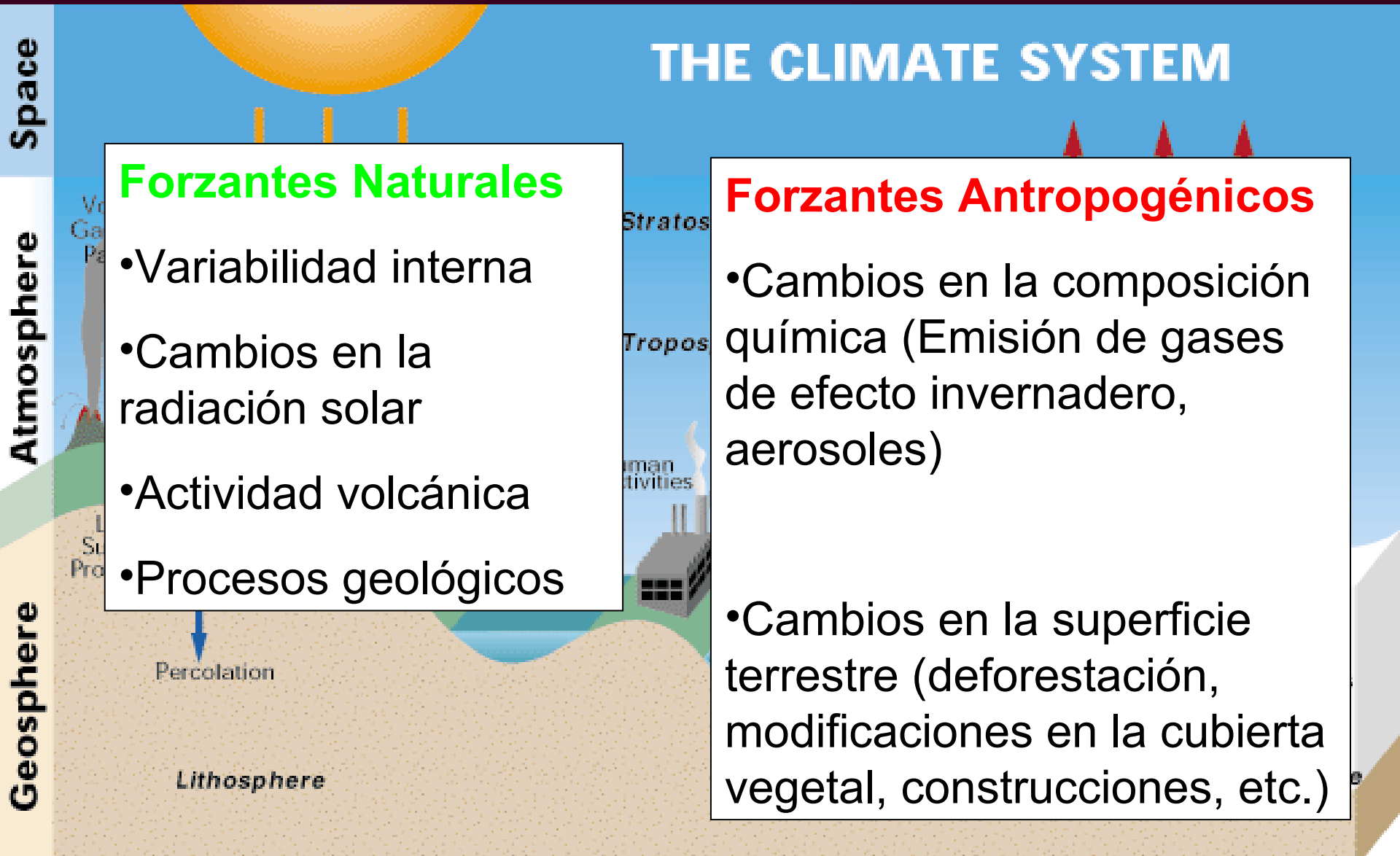
Confiabilidad e incertidumbre de las proyecciones de cambio climático en Sudamérica

Dra. Carolina Vera
Centro de Investigacion del Mar y la Atmósfera (CIMA)
Facultad de Cs. Exactas y Naturales/UBA-CONICET
CNRS/UMI-IFAECI

Contenido

- Tendencias climáticas observadas en el siglo XX
- Variabilidad climática natural y el cambio climático
- Proyecciones de cambios climáticos futuros
- Cambios proyectados en la precipitación de Sudamérica y los mecanismos físicos asociados
- Conclusiones

¿ Por qué se producen los cambios climáticos?



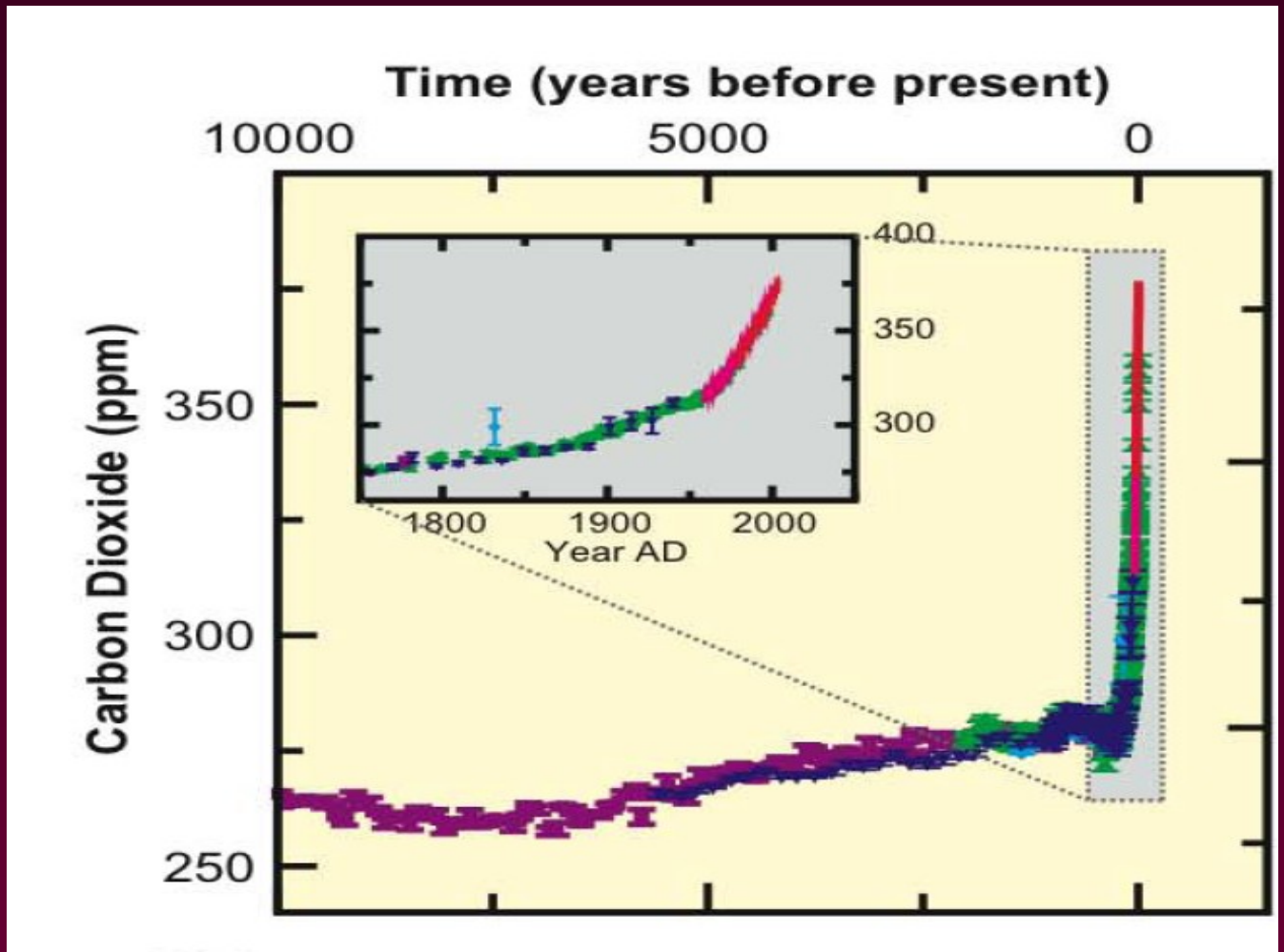
Forzantes Naturales

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

Forzantes Antropogénicos

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

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

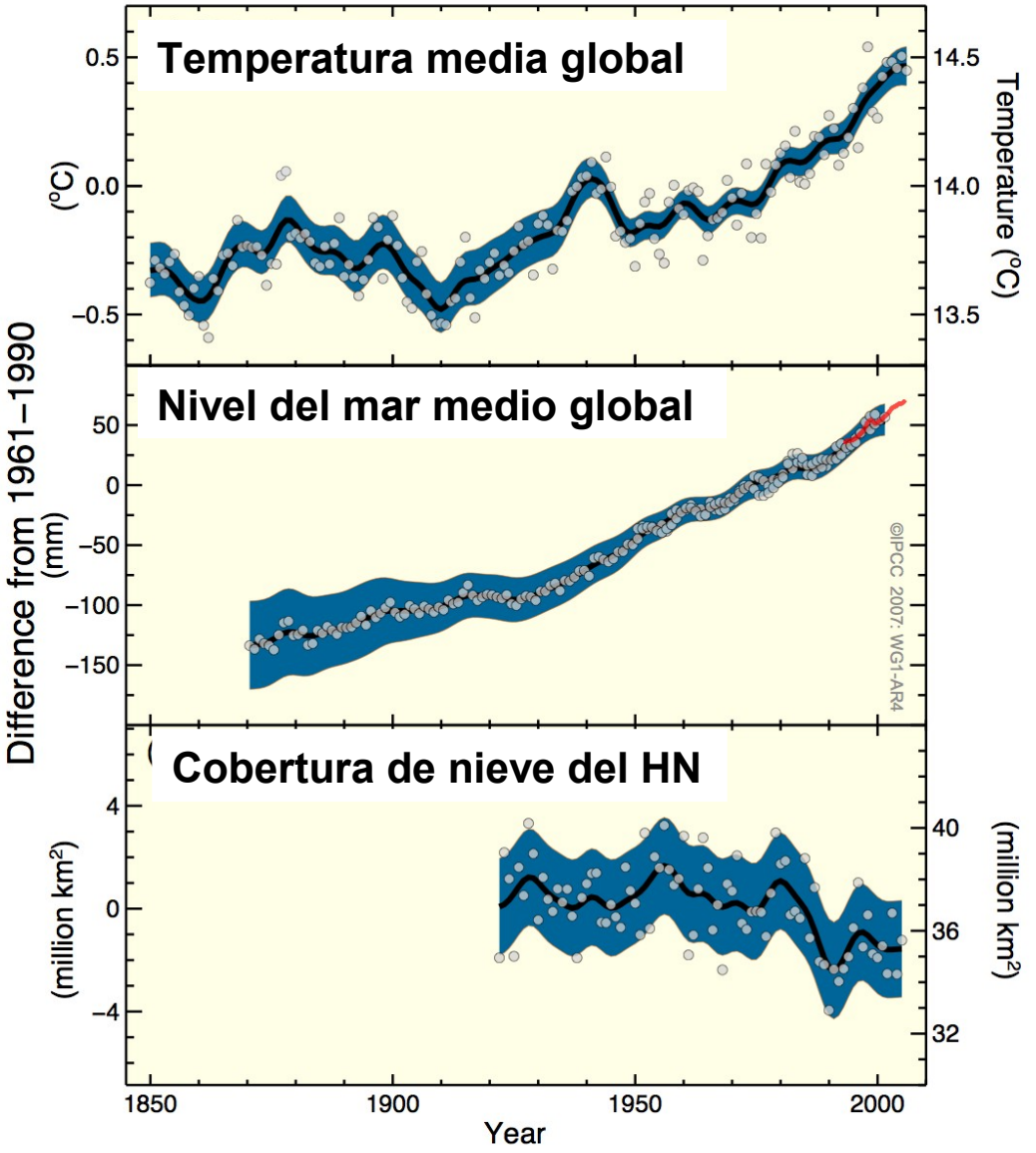


IPCC/AR4, 2007

Observaciones Directas de Cambios Climáticos Recientes

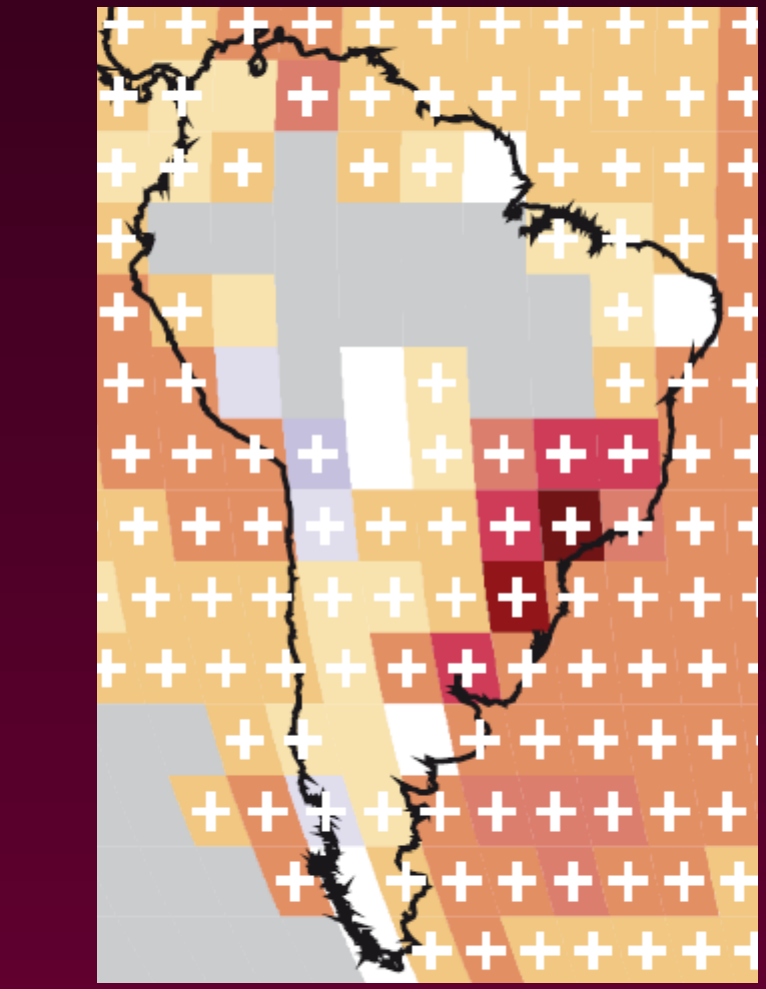
Cambios recientes en el sistema climático son evidentes de las observaciones

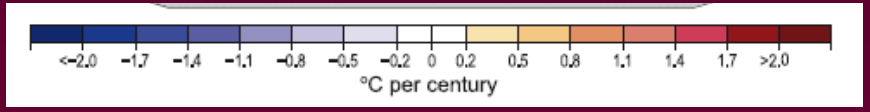
IPCC/AR4, 2007



Observaciones Directas de Cambios Climáticos Recientes

Tendencias lineales de la temperatura anual (1901-2005)

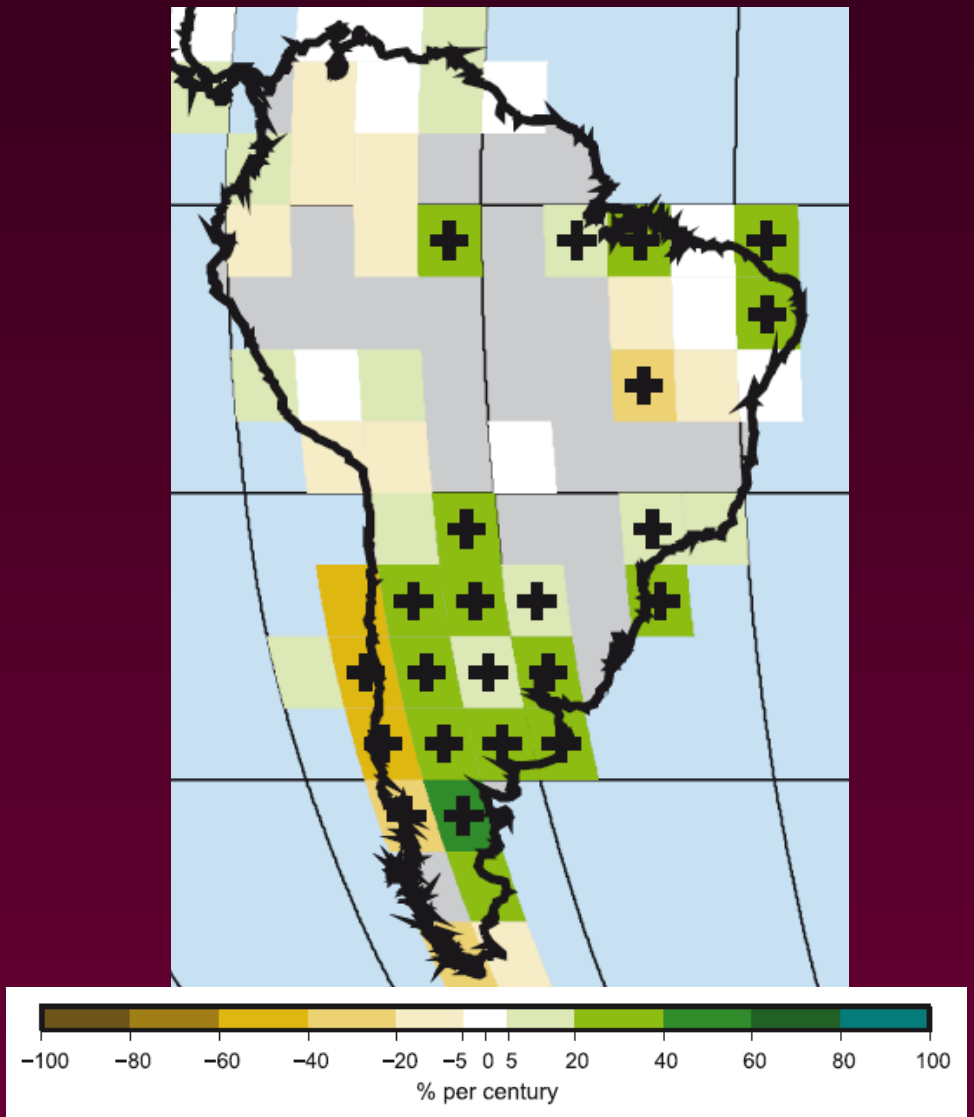




IPCC/AR4, 2007

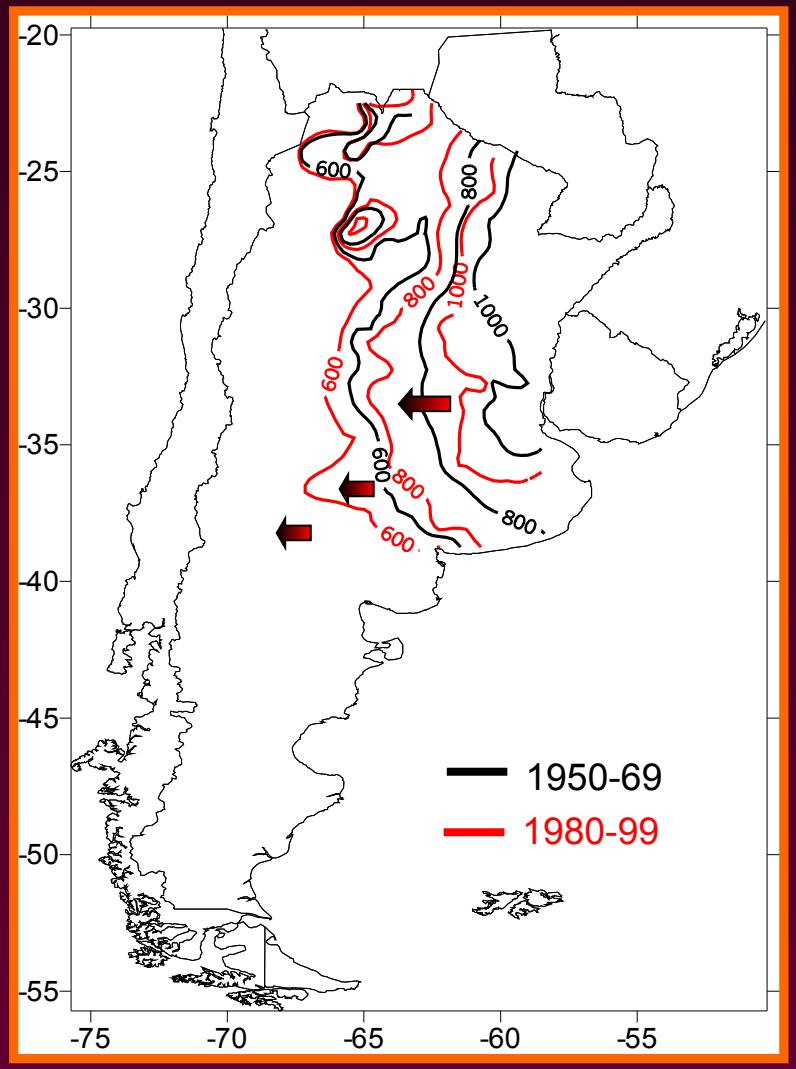
Observaciones Directas de Cambios Climáticos Recientes

Tendencias lineales de la precipitación anual (1901-2005)



IPCC/AR4, 2007

Consecuencias del aumento de la precipitación:
El corrimiento de la frontera agrícola



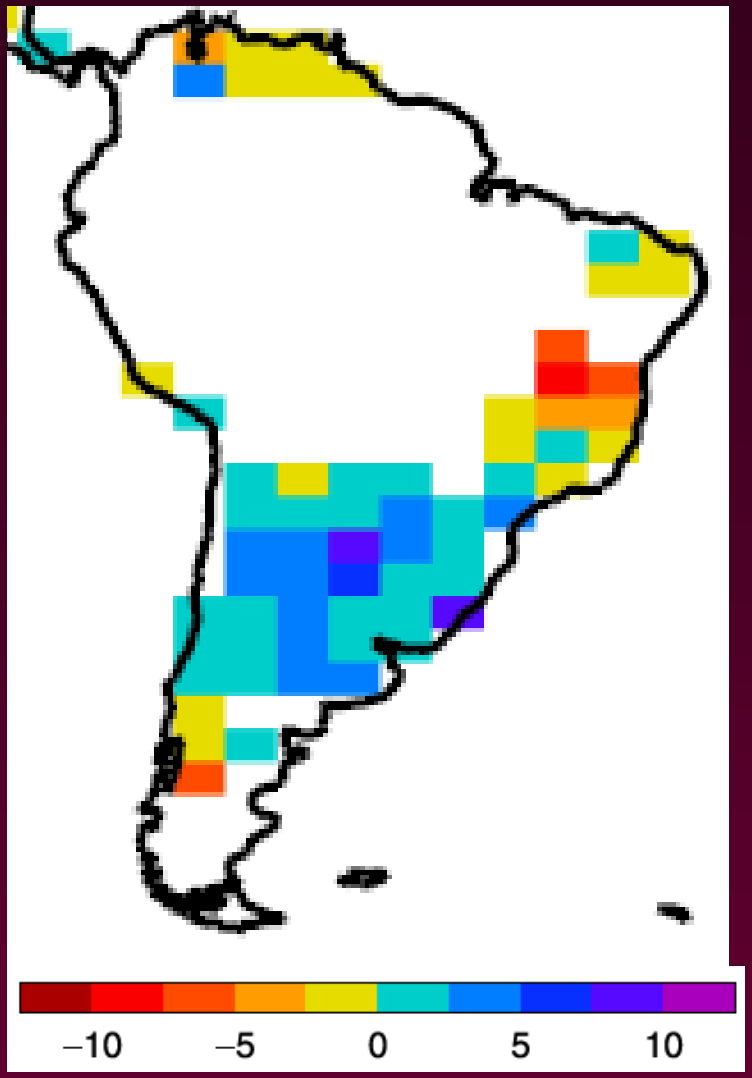
La frontera agrícola se expandió hacia el **oeste**, dando lugar a una importante agriculturización en la franja que va desde La Pampa hasta Santiago del Estero.

Camilloni et al. (2005)

Cambios observados en las condiciones extremas

Aumento de la intensidad máxima de las lluvias de verano (RX5day en mm/década)

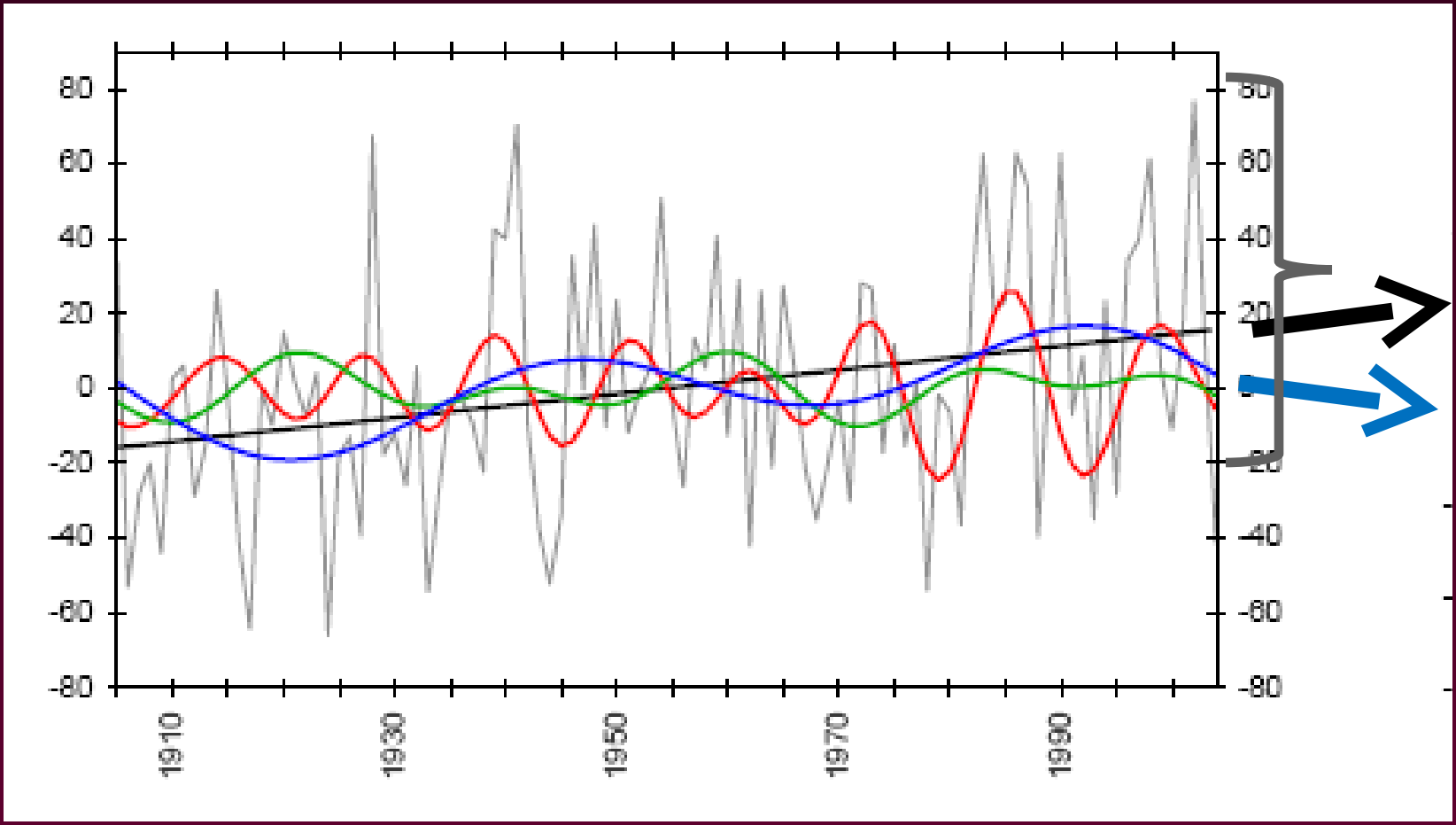
Período 1951-2003



Alexander et al. (2006)

Variabilidad climática natural y cambio climático

Anomalías de lluvia media anual en el Nordeste de Argentina



Anomalías de lluvia media anual (mm/mes) (gris) en Posadas y las contribuciones de las oscilaciones decadales (colorado), multidecadales (verde y azul) y la tendencia de largo término (negro) (Vera y Silvestri, 2011)

Incertidumbres asociadas con el Cambio Climático

- El sistema climático tiene su propia **variabilidad interna natural caótica**

- **Los forzantes** antropogénicos (ej. emisiones de GEI) y naturales del sistema climático (ej. act. volcánica, radiación solar) tienen una **componente azarosa**,

Entonces diferentes condiciones climáticas futuras son posibles, cada una con una cierta probabilidad de ocurrir. Es decir, el cambio climático futuro está caracterizado por ***un nivel intrínseco de incertidumbre***

Una **fuente adicional** de incertidumbre es aquella relacionada con las **limitaciones de los modelos climáticos** en representar el sistema climático en forma precisa.

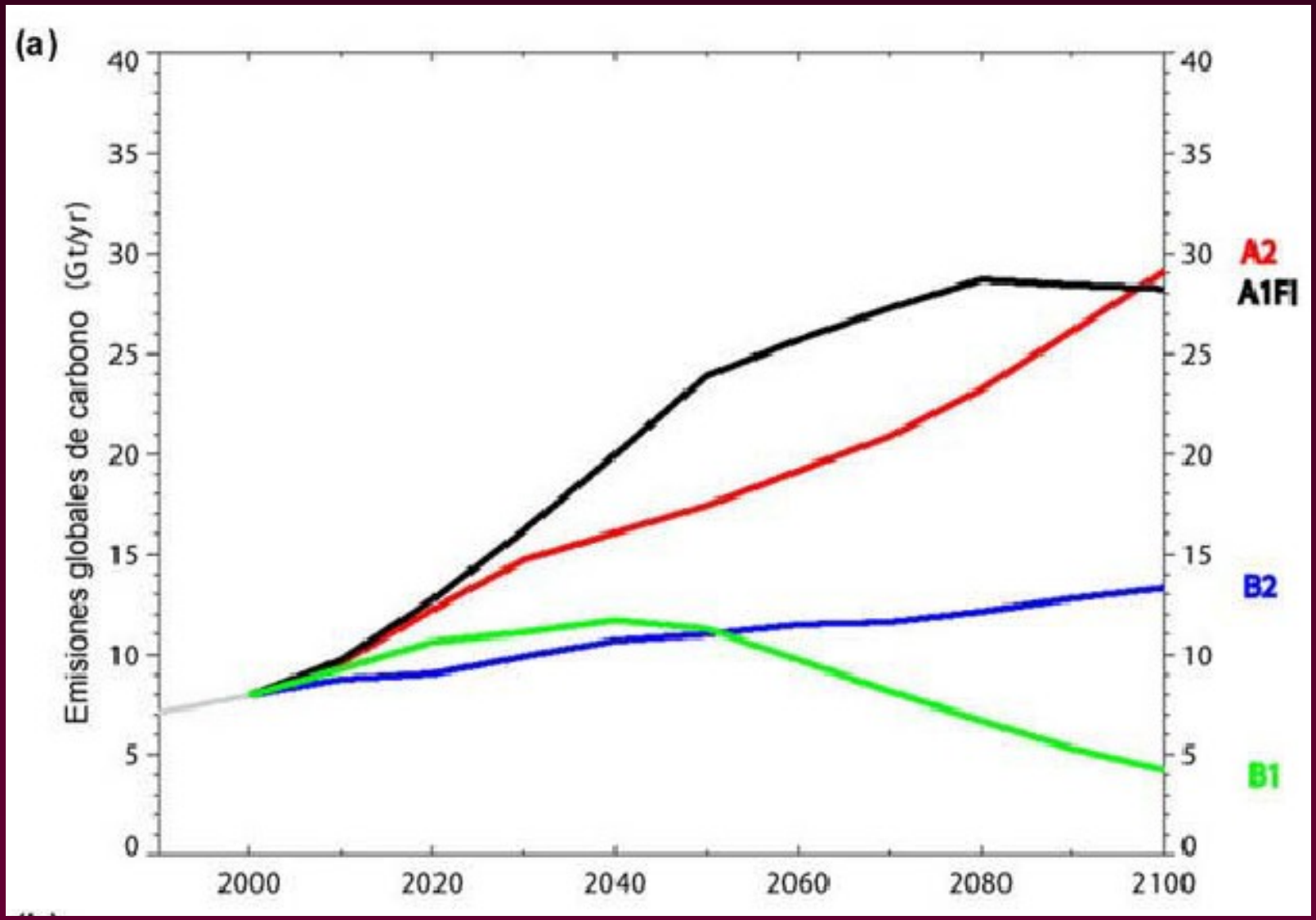
A nivel regional y para variables como la precipitación, la variabilidad natural del clima y las limitaciones de los modelos son las dos fuentes principales de incertidumbre

¿Qué son las proyecciones de cambio climático?

Son representaciones acerca del clima futuro consistentes con suposiciones de variaciones de los forzantes naturales externos y de emisiones de gases de efecto invernadero por las actividades humanas

(No son predicciones del clima)

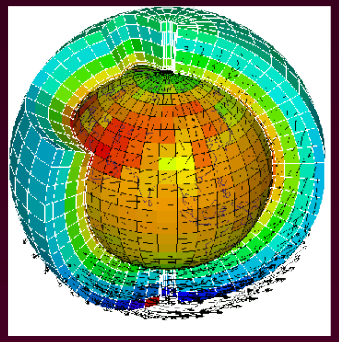
Los diferentes escenarios de emisión de GEI se asocian a diferentes escenarios socioeconómicos y de desarrollo tecnológico



Proyecciones globales de cambio climático

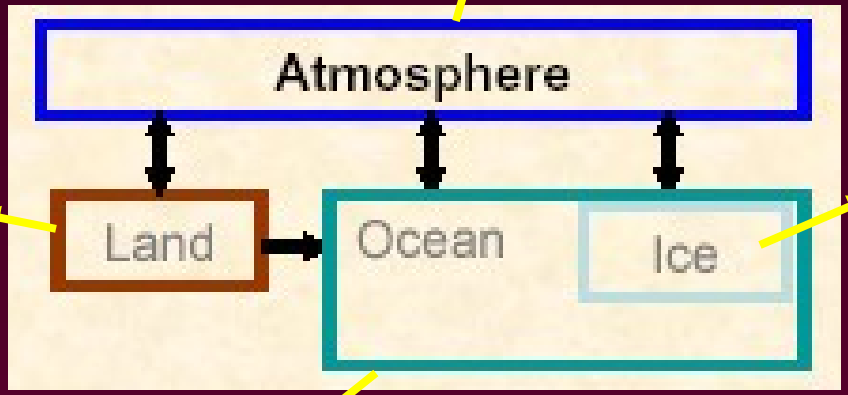
Los modelos climáticos globales (MCGs) son representaciones numéricas de las ecuaciones fundamentales que describen el comportamiento del sistema climático y las interacciones a través de sus componentes (Atmósfera-Océanos, Criosfera, Biosfera).

MODELOS CLIMATICOS GLOBALES



- Radiation
- Winds
- Water cycle (vapor, clouds, precipitation)
- Chemistry

- Surface characteristics
- Snow cover
- Soil water, rivers
- Carbon components

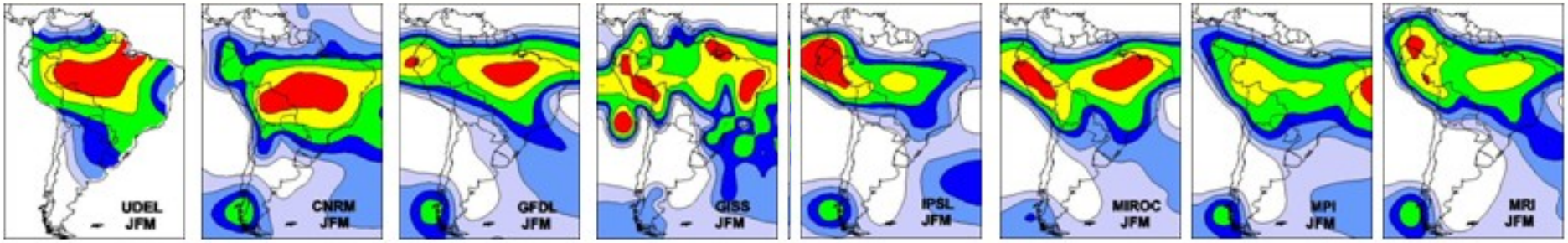


- Sea Ice (surface reflectivity, ocean freshwater forcing)
- Ice sheets and shelves (sea level, ocean freshwater forcing)

- Currents and mixing
- Biogeochemistry
- Main climate system heat and carbon store

Proyecciones globales de cambio climático

→Existe una gran dispersión en la calidad de las simulaciones climáticas proporcionadas por los modelos actuales



Observaciones **Precipitación media del verano representada por los diferentes modelos**

Vera et al. (2006)

Proyecciones globales de cambio climático

→ Para reducir las incertidumbres en las proyecciones de clima futuro se necesita basarse en información combinada de:

*Diferentes escenarios socio-económicos

*Diferente modelos

*Gran número de simulaciones climáticas

para cubrir el rango de posibles estados climáticos futuros

Proyecciones globales de cambio climático

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)

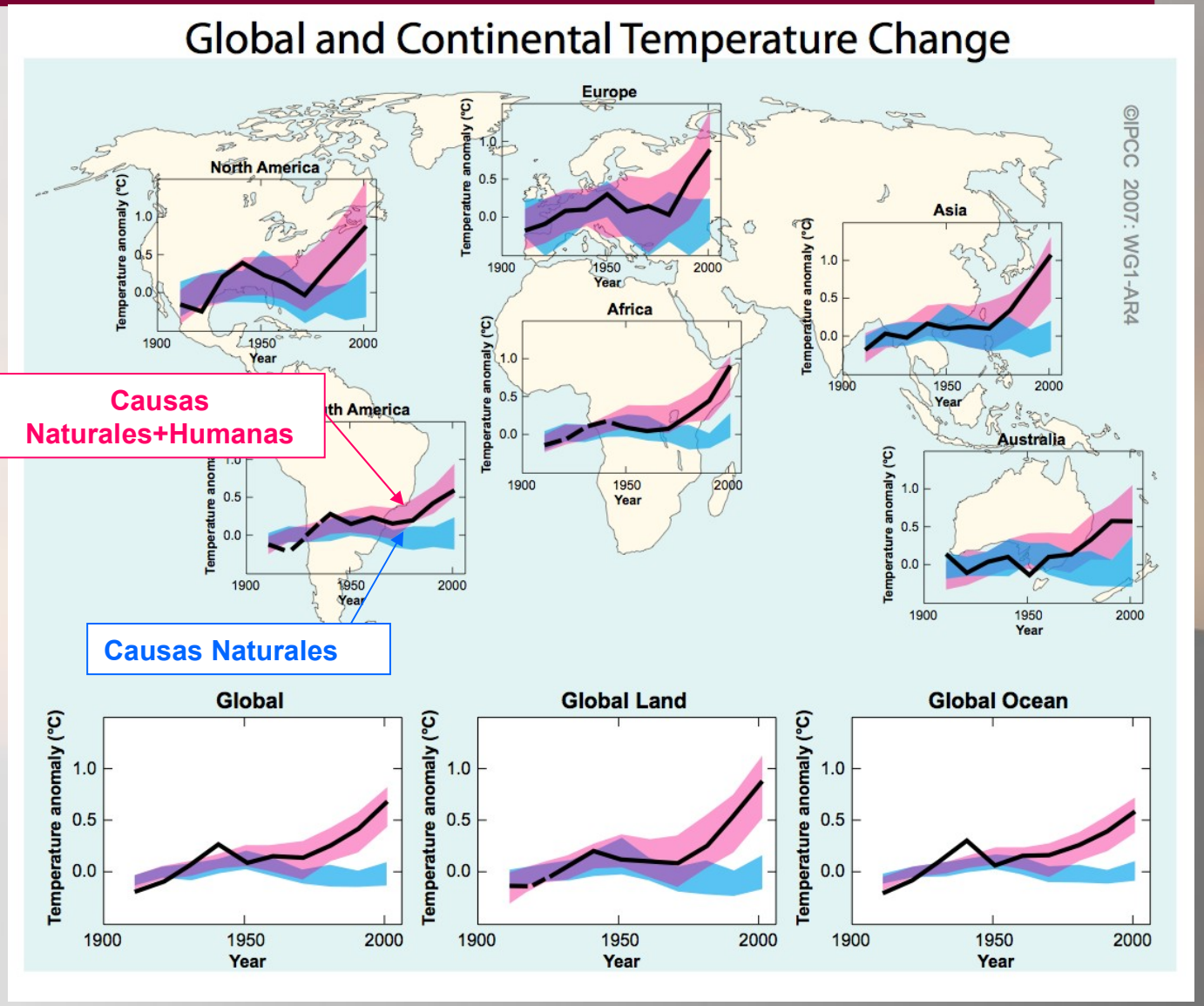
- Uso masivo mundial (2006-2008):
  - Más de 2200 investigadores de países de todo el mundo analizaron las simulaciones
  - Más de 500 publicaciones en revistas indizadas
  - Más de 462 Terabytes de información

WCRP World Climate Research Programme

WMO IOC ICSU International Council for Science

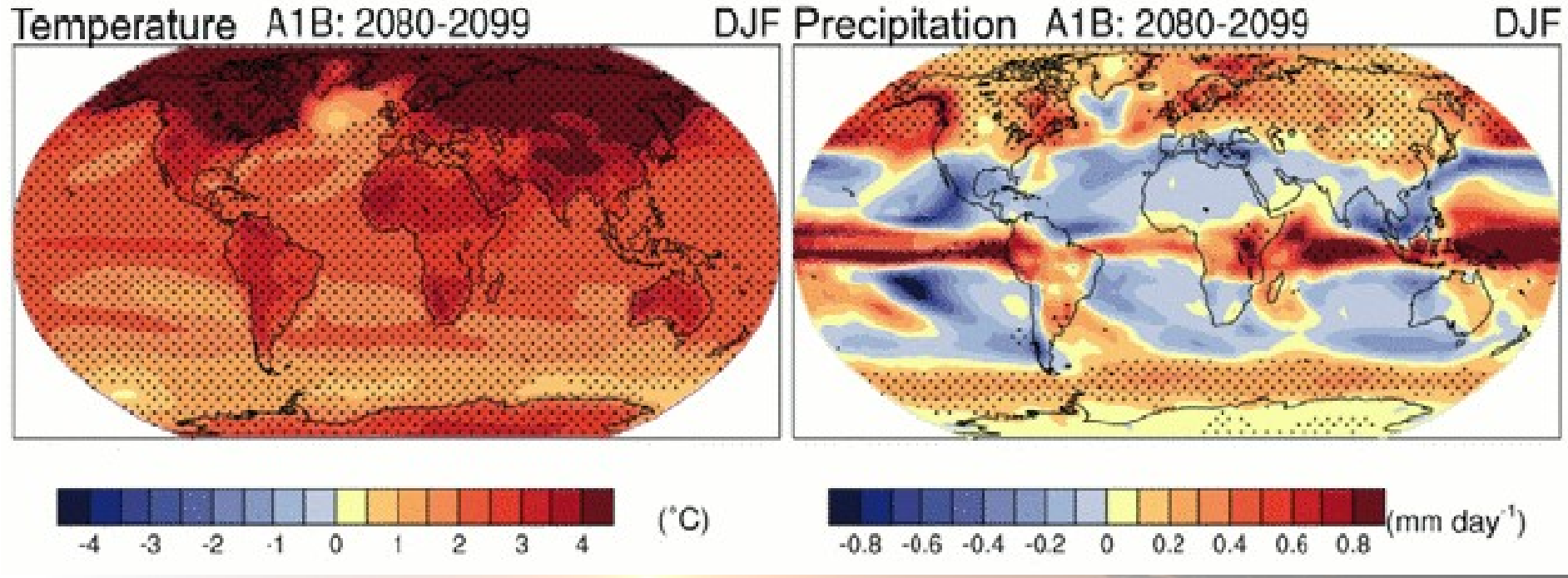
Atribución del Cambio Climático

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



WCRP
World Climate Research Programme

Proyecciones globales de cambio climático



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

WCRP World Climate Research Programme

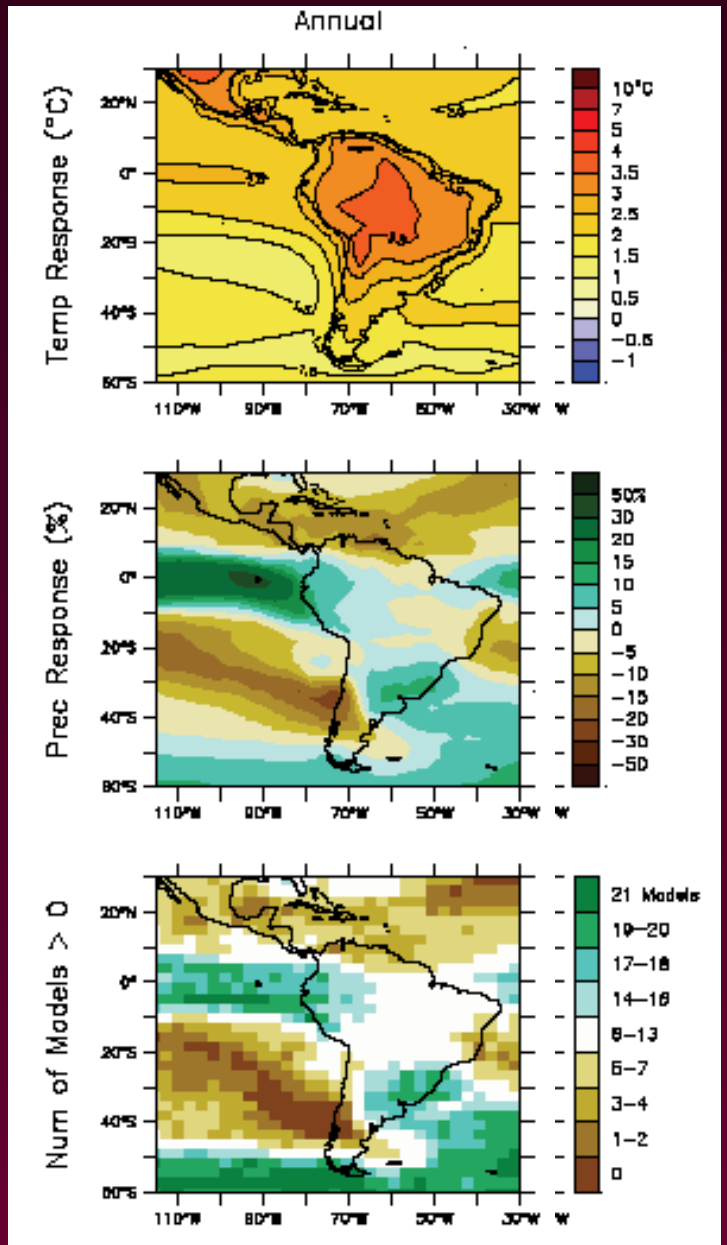
WMO IOC ICSU

Cambios proyectados en la temperatura y precipitación por el conjunto multimodelos CMIP3 (2080-2099)-(1980-1999)

Temperatura

Precipitación

Número de modelos que concuerdan con el signo de cambio de la precipitación

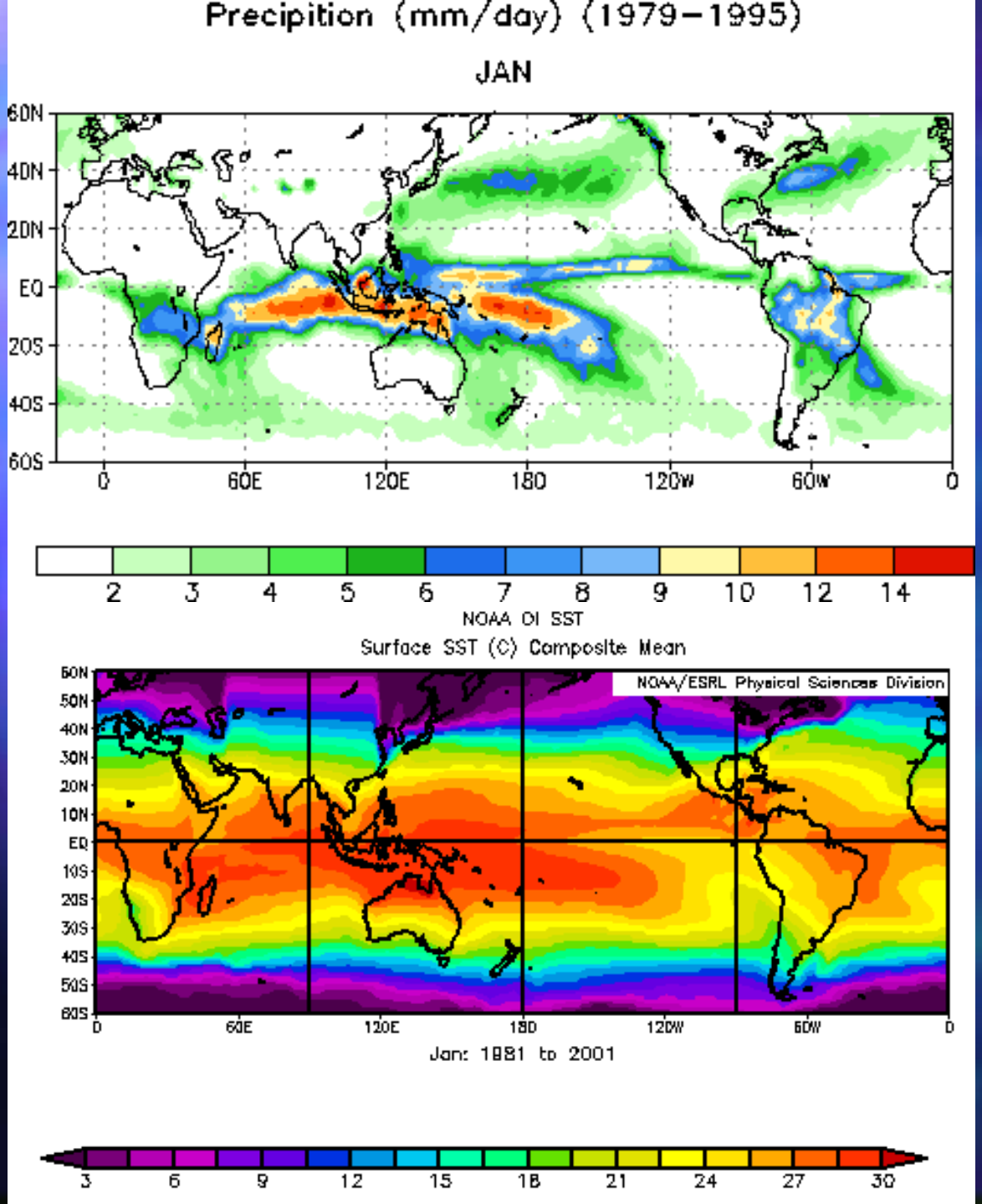


- Aumentos de las precipitaciones medias estivales en el este de Argentina son proyectados para fines del siglo XXI por mas de 15 de los 21 modelos.

- Esta proyección concuerda con los cambios recientes observados.

¿Cuáles son los mecanismos físicos que explican un aumento de las precipitaciones de verano en el sudeste de Sudamérica en un escenario de cambio climático por aumento de los GEI?

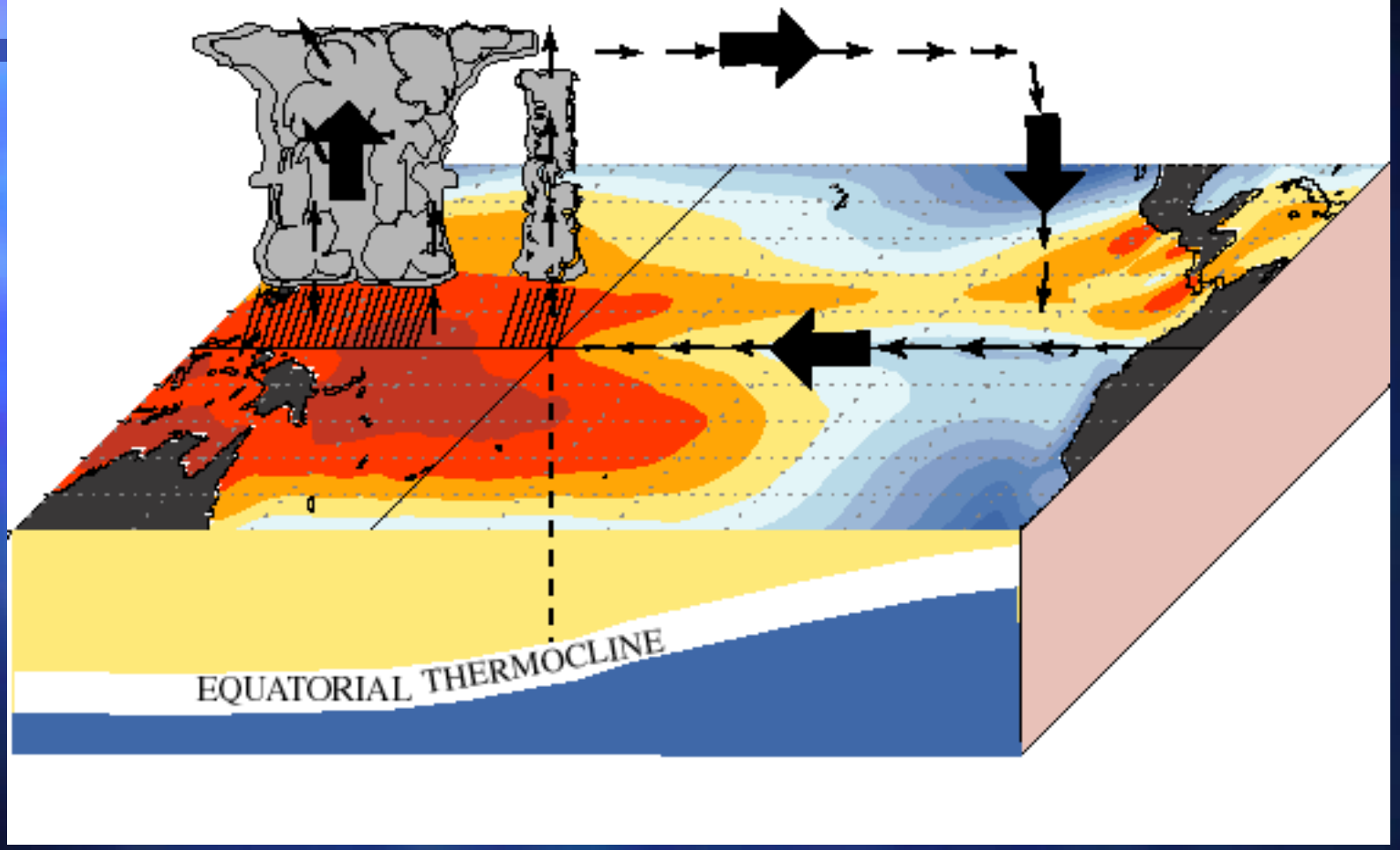
Calentamiento
Liberación de calor latente
Condensación
Vapor de Agua a la Atmósfera
Evaporación



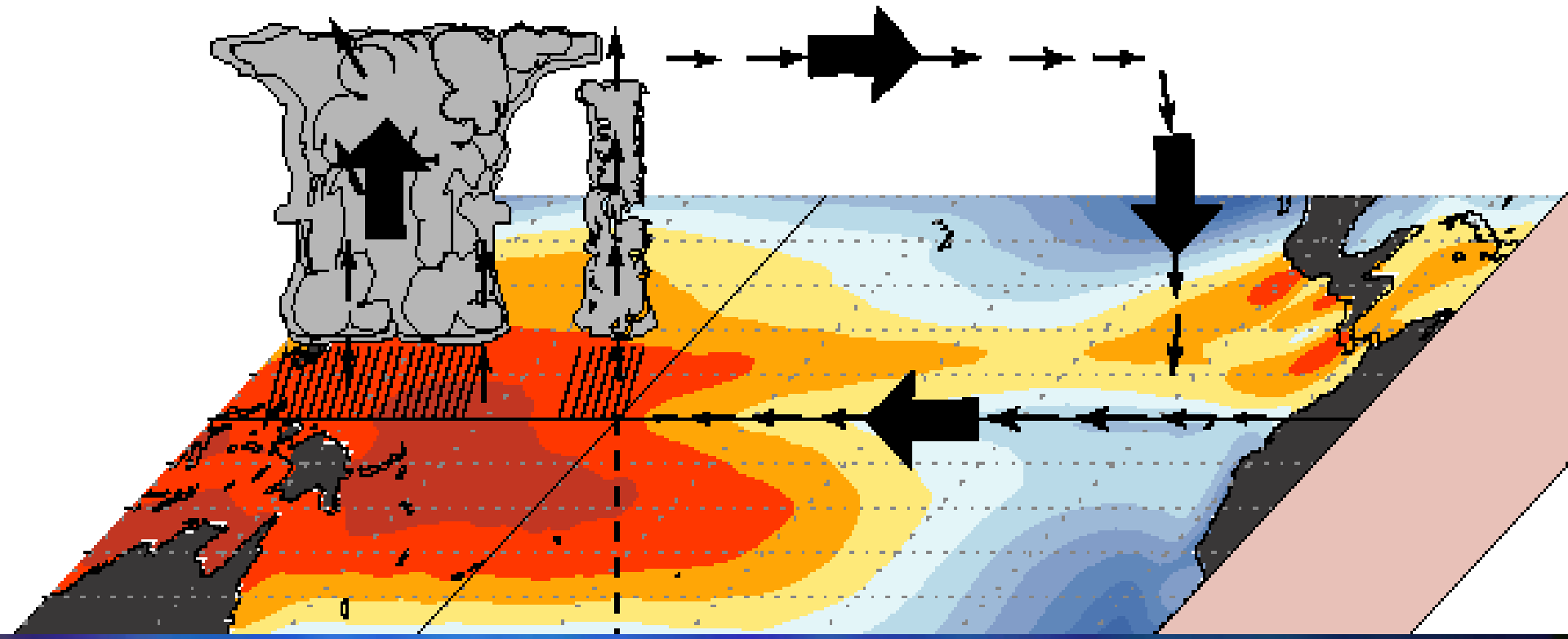
Precipitación media climatológica de Enero

Temperatura de la superficie del mar media climatológica

December - February Normal Conditions



Sistema acoplado Mar-Atmósfera



Vientos → Temperatura superficial del mar → Precipitación

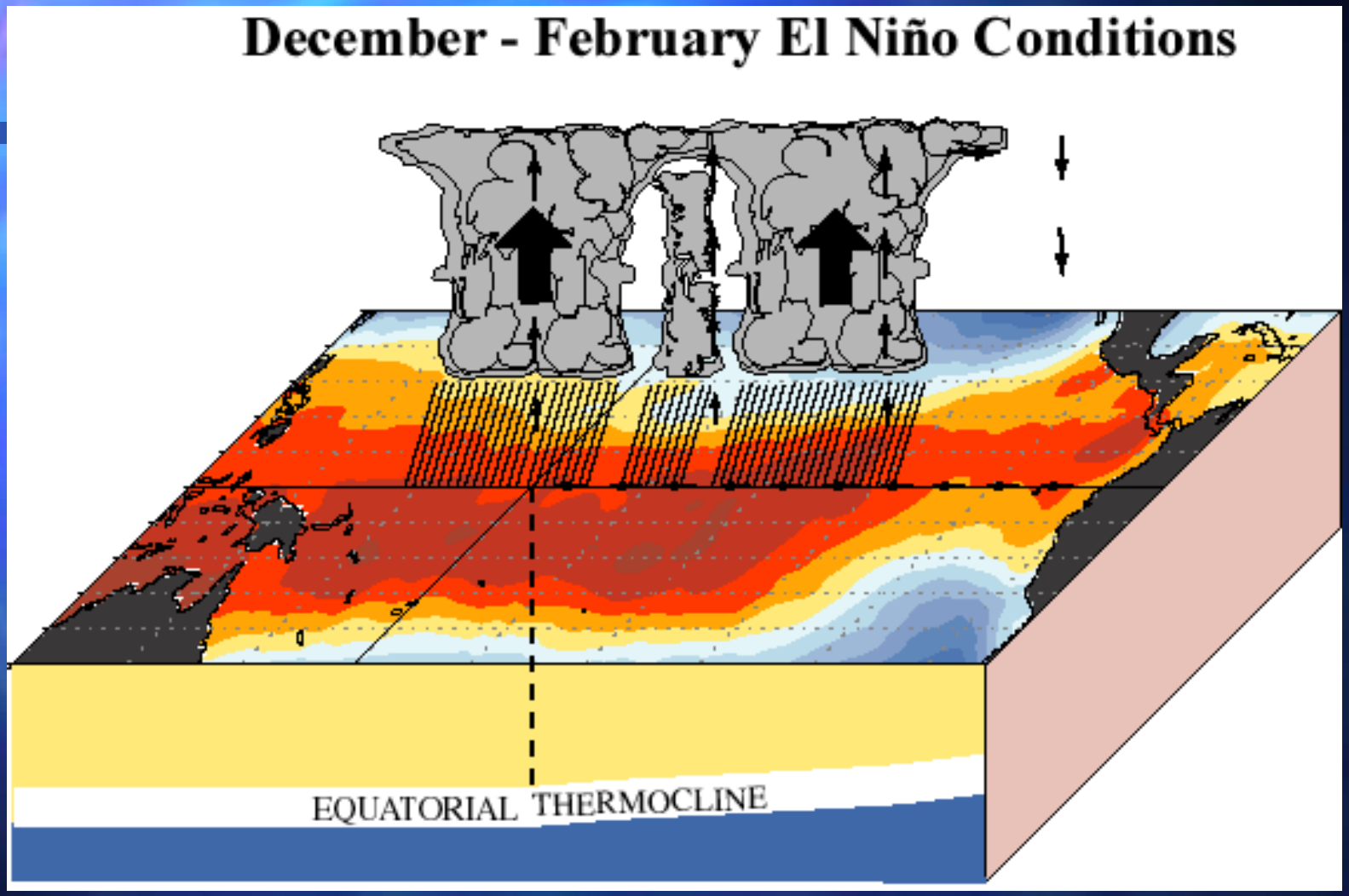
↓

Calentamiento

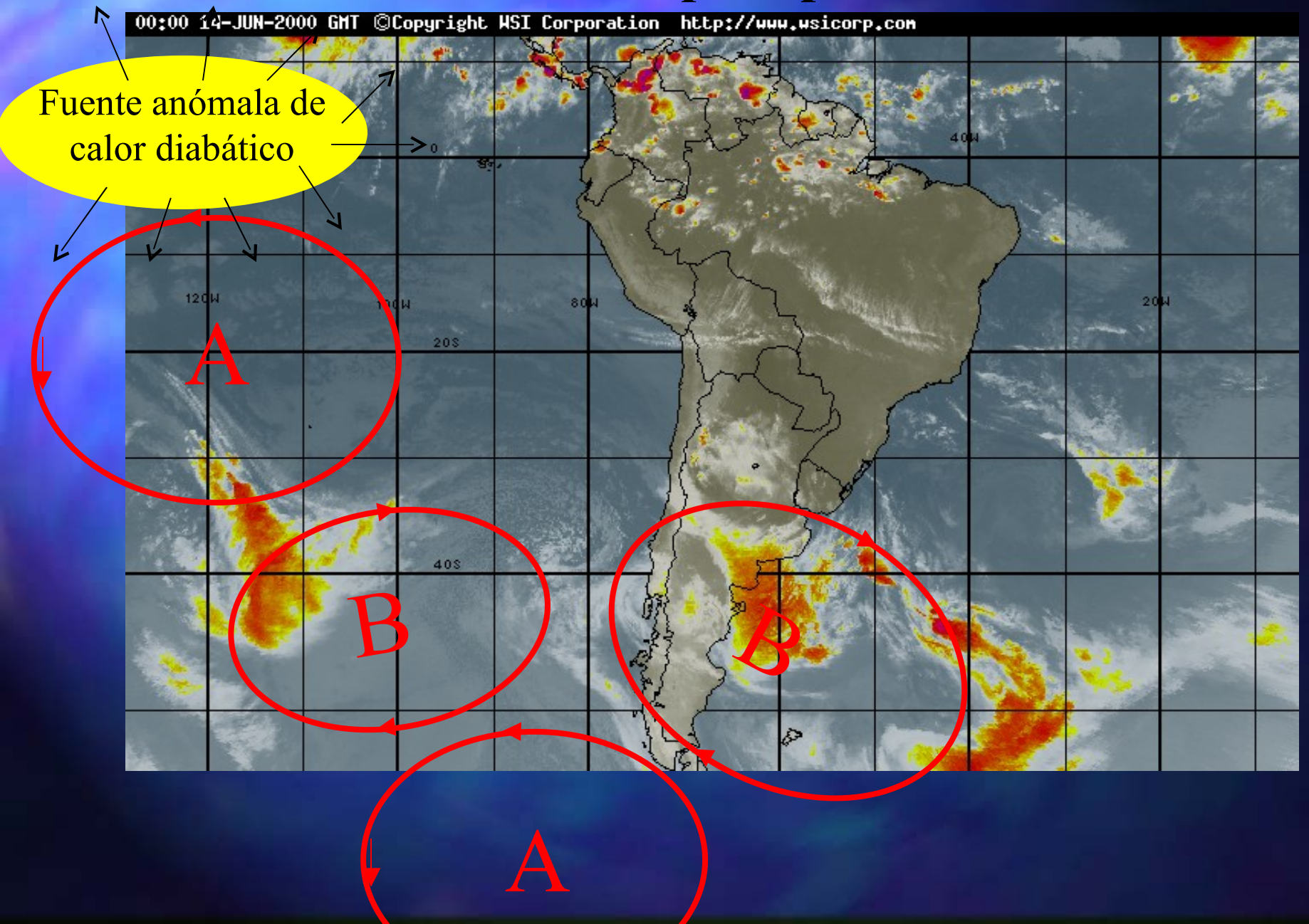
↓

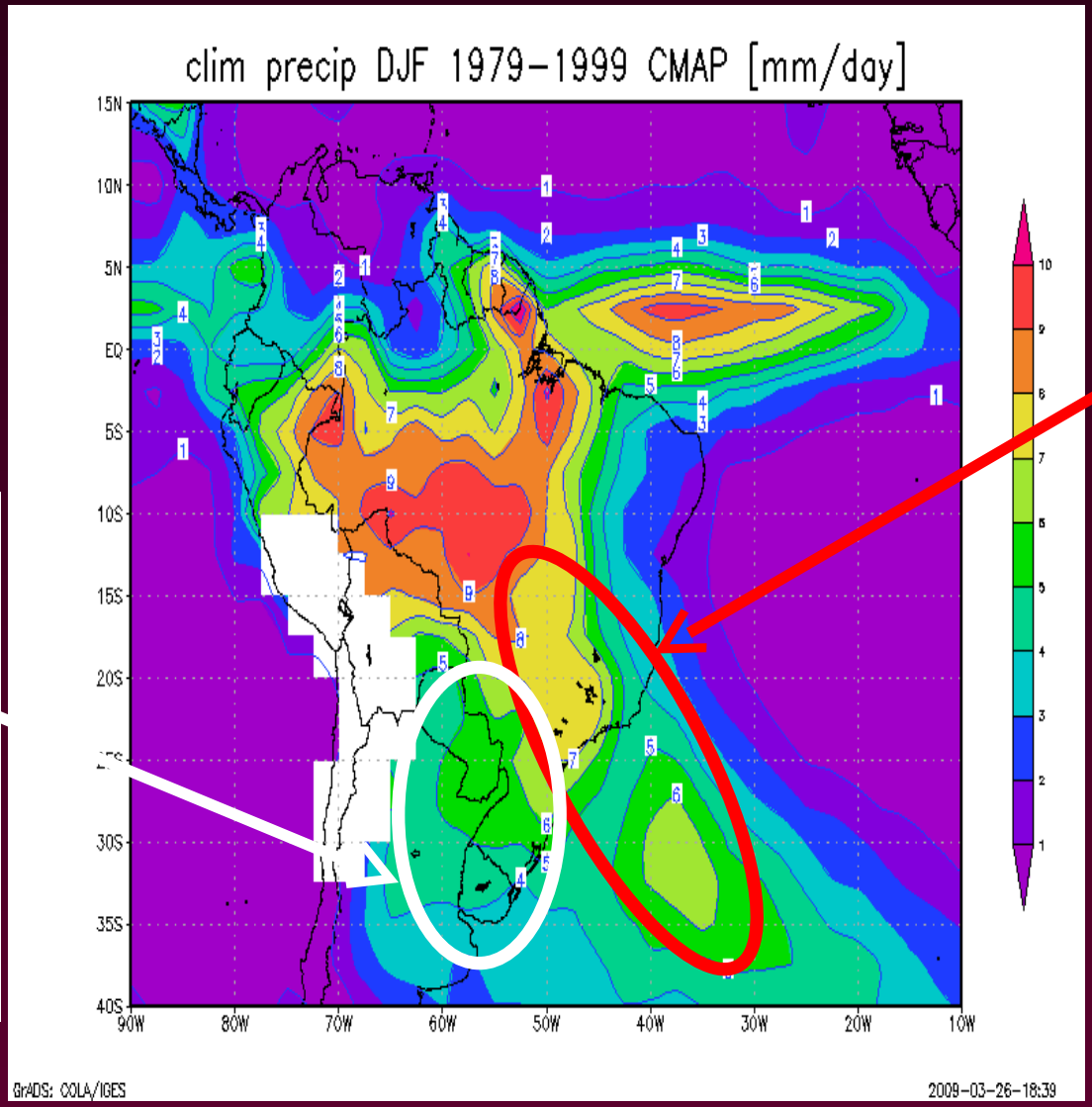
Circulación atmosférica → Vientos

EL NIÑO


December - February El Niño Conditions
EQUATORIAL THERMOCLINE

Influencia del Niño sobre la precipitación de Sudamérica





SACZ
South Atlantic Convergence zone

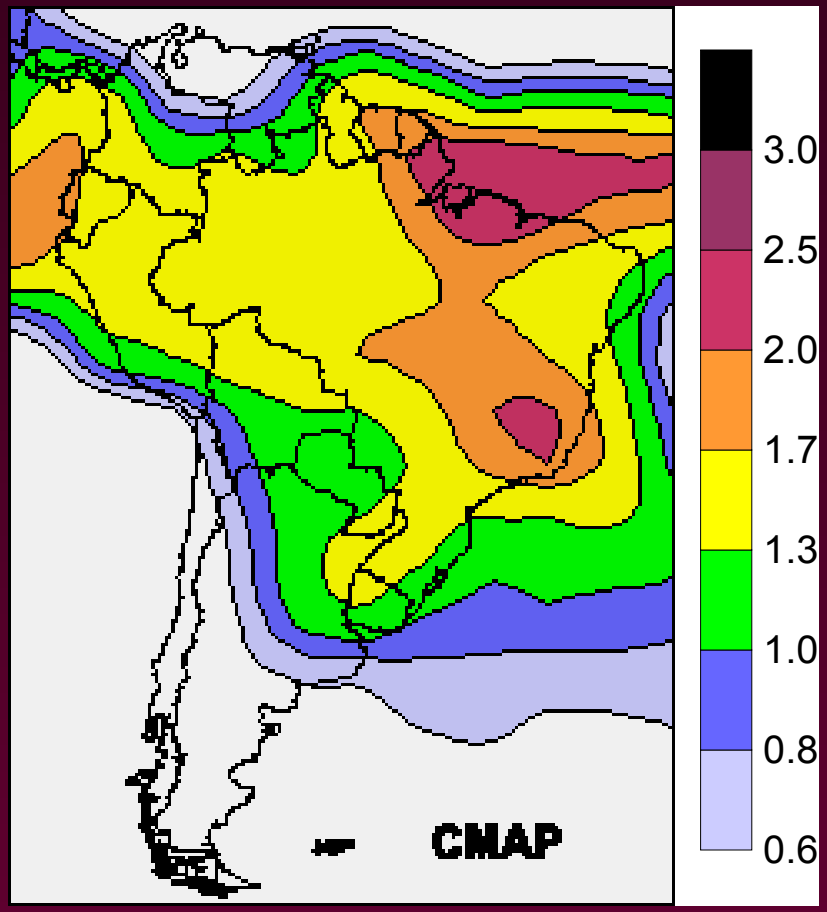
LPB
La Plata Basin

Or

southeastern South America

Precipitación media climatológica de verano (1979-1999)

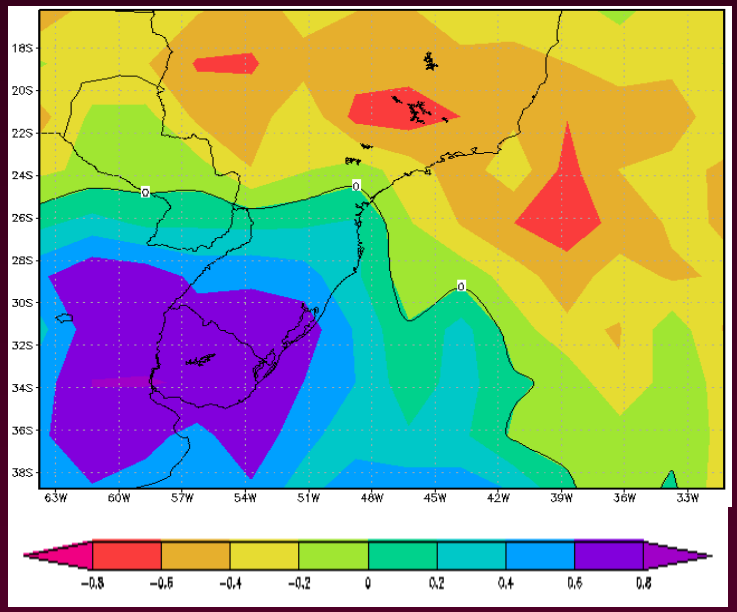
Variabilidad interanual de la precipitación media de verano



Vera and Silvestri (2009)

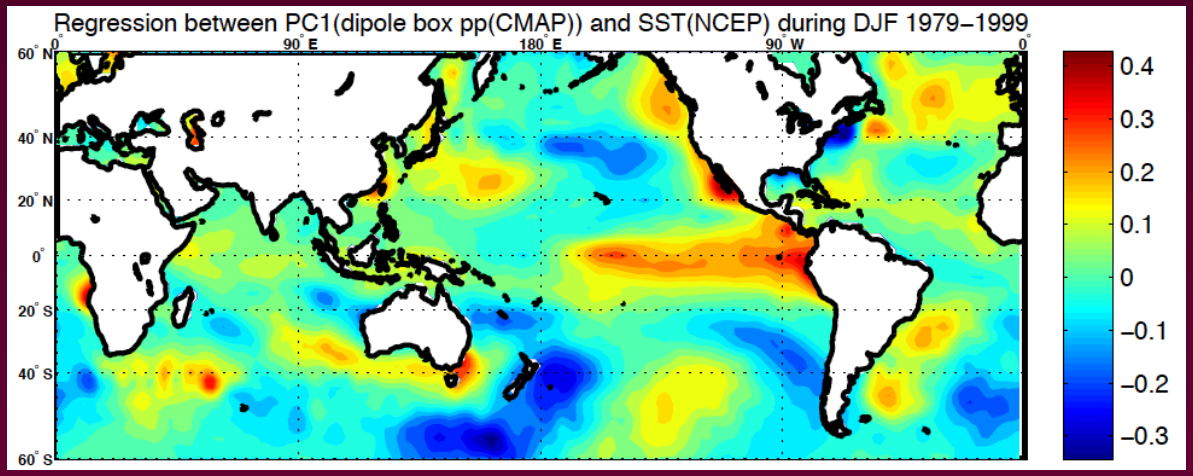
Patrón principal de variabilidad interanual de las anomalías de precipitación de Verano

EOF1



Junquas et al. (2011)

Veranos anómalamente húmedos (secos) en el sudeste de Sudamérica están asociados con condiciones anómalamente secas (húmedas) en la región tropical



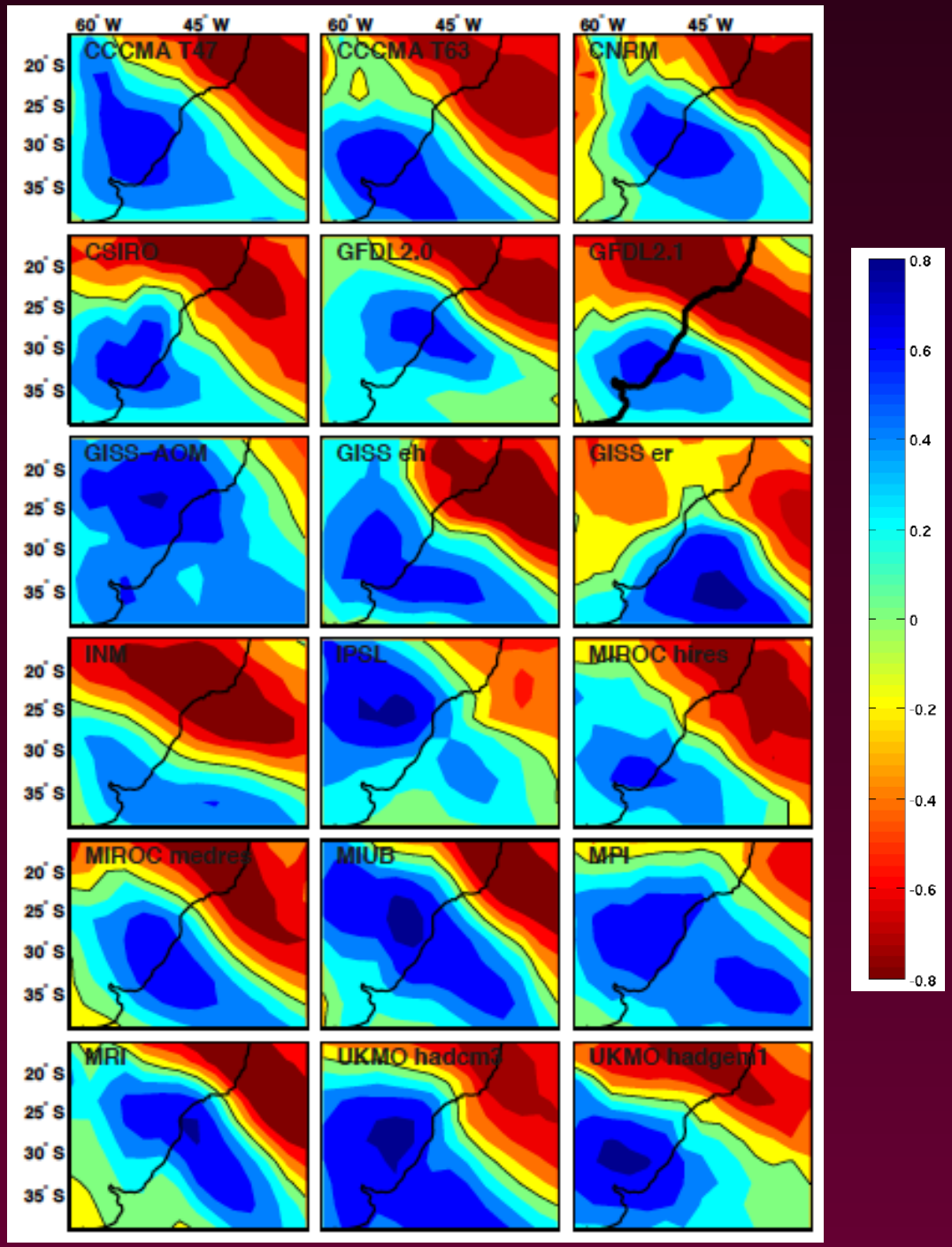
Regresión lineal entre el EOF1 y las anomalías de temperatura de superficie del mar

EOF1 de las anomalías de precipitación de verano obtenido a partir de 18 modelos climáticos del WCRP-CMIP3

Período: 2001-2099

Escenario Climático: SRESA1B

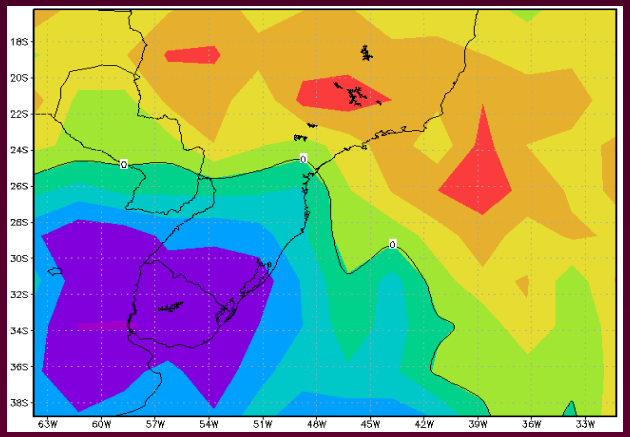
Junquas et al. (2011)

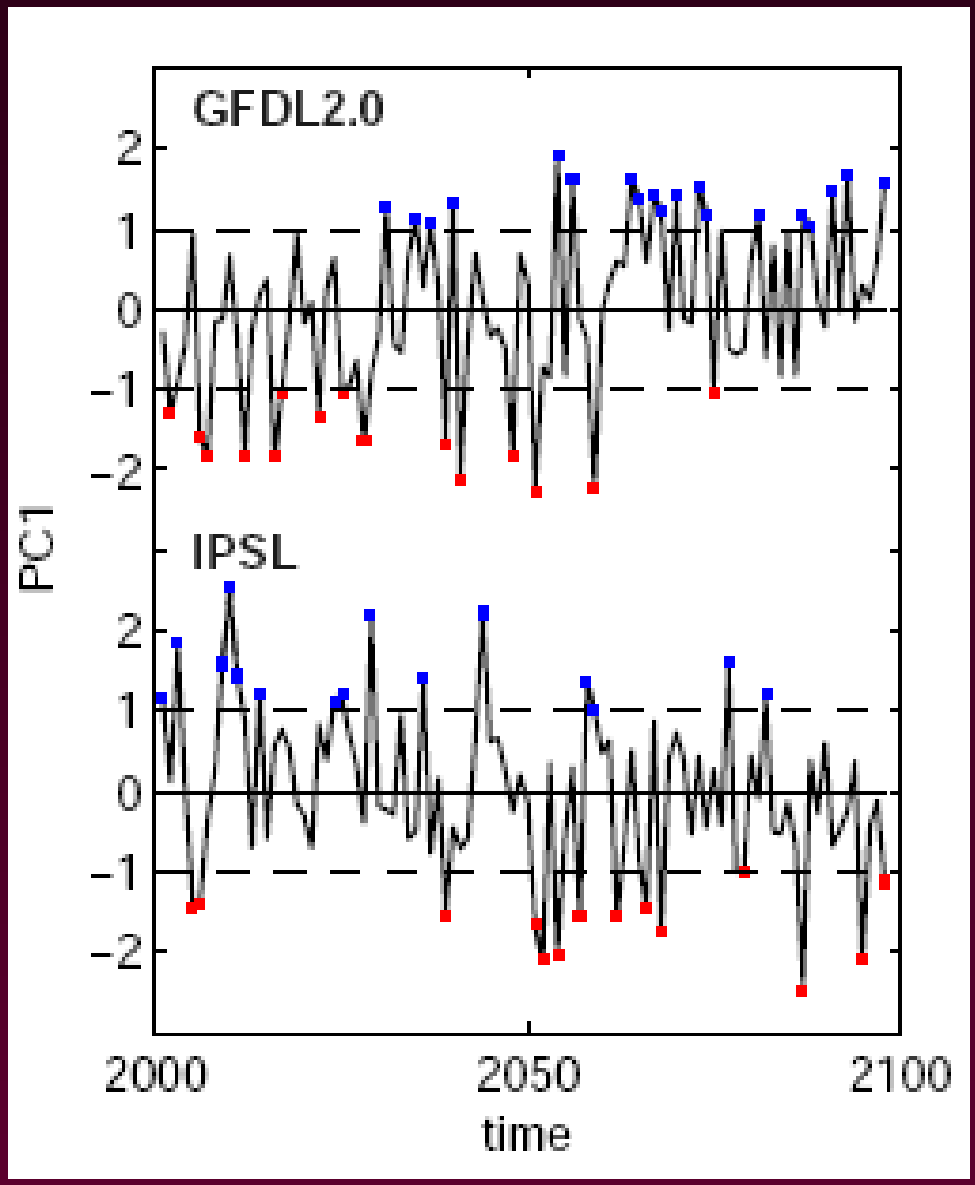


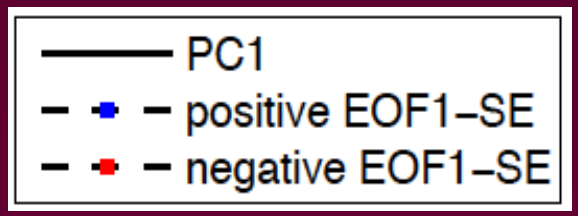
Principal Components (PC1) of EOF1 from two of the models

- Blue (red) : PC1 larger (smaller) than 1 (-1) standard deviation → Positive(Negative) EOF1-SEvents.

- **Positive (negative) EOF1-SE are associated with positive (negative) precipitation anomalies in southeastern South America**

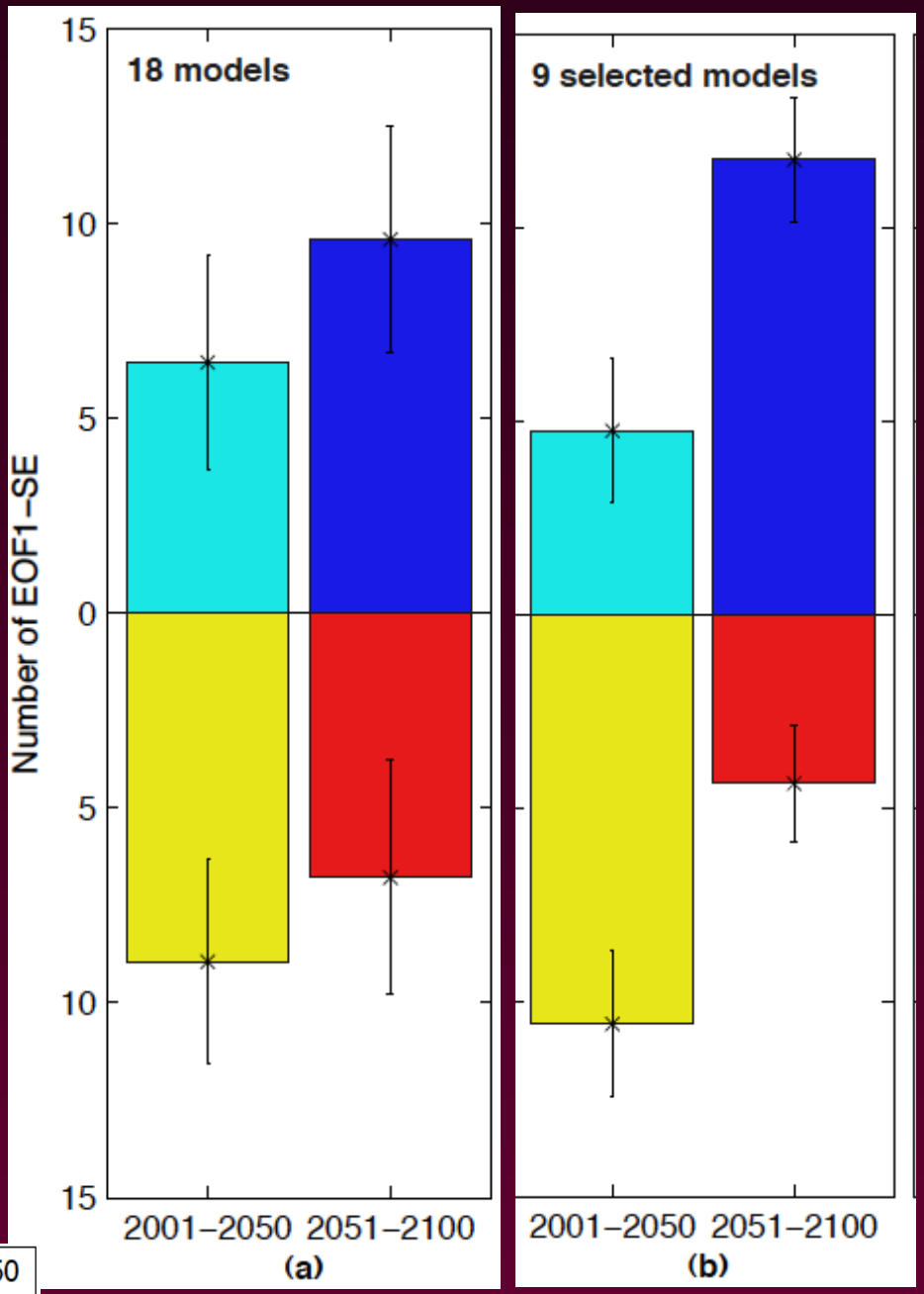






Junquas et al. (2011)

Cambios en la Frecuencia media de eventos positivos y negativos del EOF1 en un escenario de cambio climático para el siglo XXI



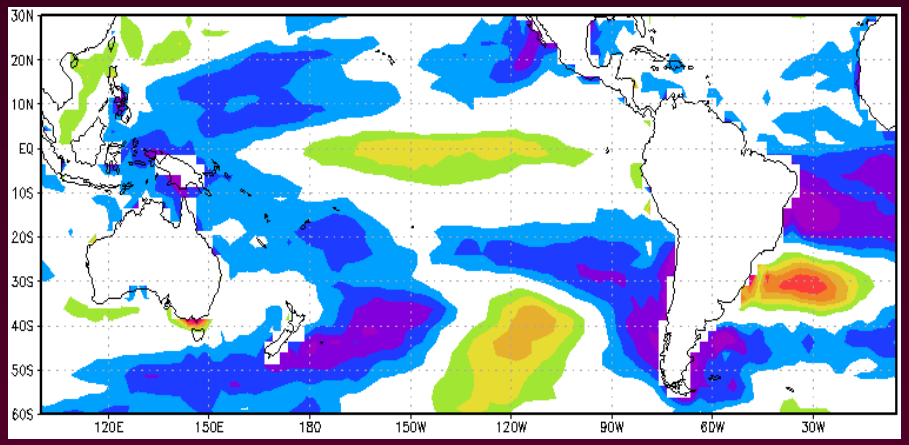
Aumento en la frecuencia de veranos más húmedos que lo normal en el sudeste de Sudamérica

Decrecimiento de veranos más secos que lo normal en el sudeste de Sudamérica

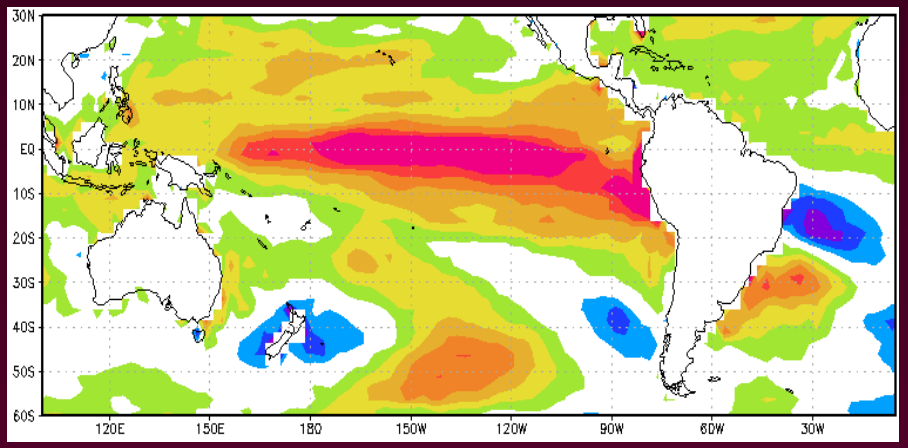
Junquas et al. (2011)

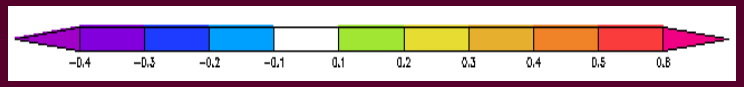
Diferencias entre las anomalías medias de temperatura de superficie del mar entre eventos positivos y negativos del EOF1

(A) 2001-2049



(B) 2050-2099

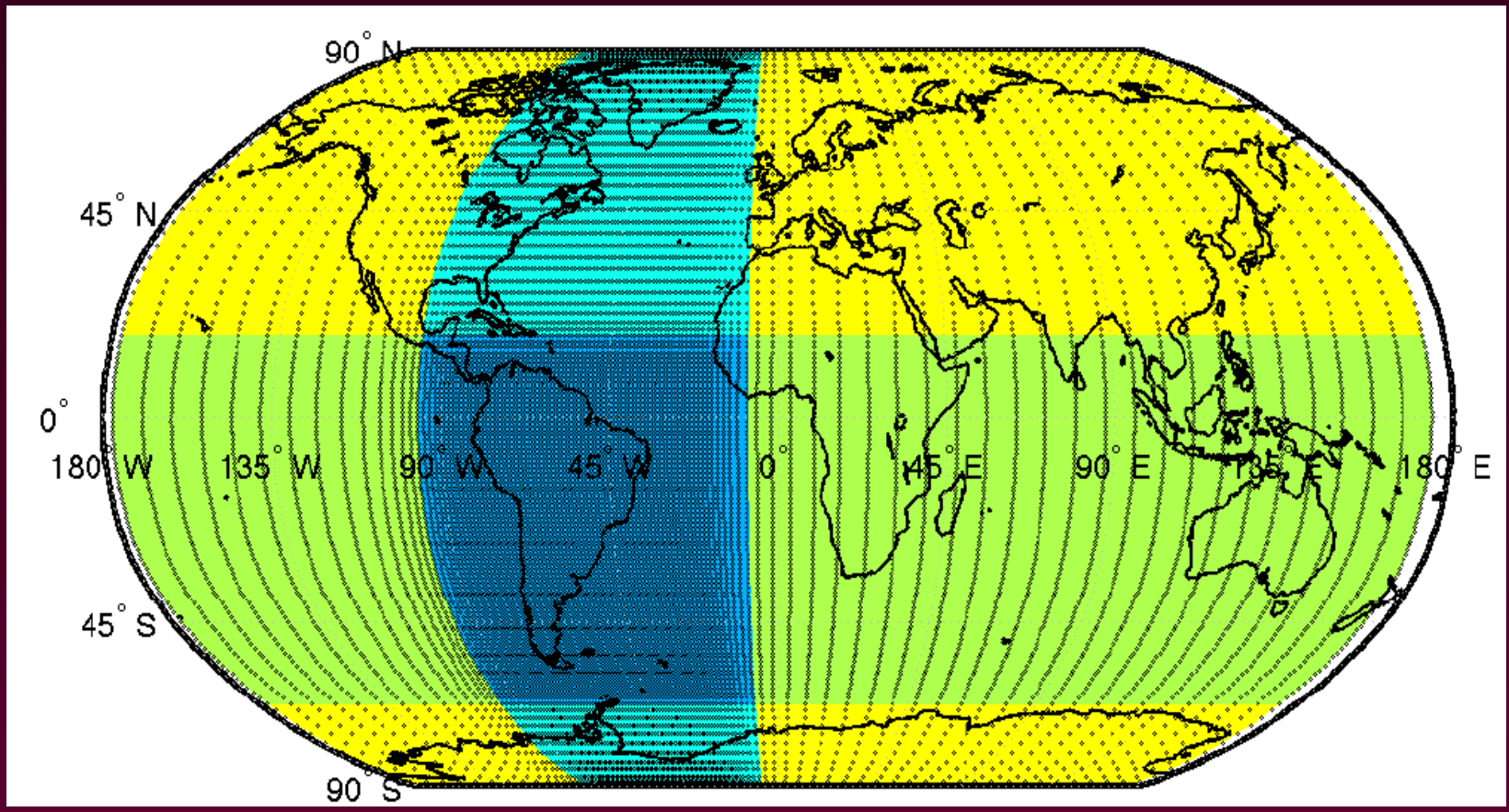




Junquas et al. (2011)

Experimentos numéricos de sensibilidad fueron hechos para confirmar los mecanismos físicos identificados y en especial el papel de los cambios en los océanos tropicales

Modelo atmosférico global con zoom en Sudamérica



Corrida Control:

- Condiciones iniciales dadas por las SST medias de DJF.
- Ensemble de 30 miembros

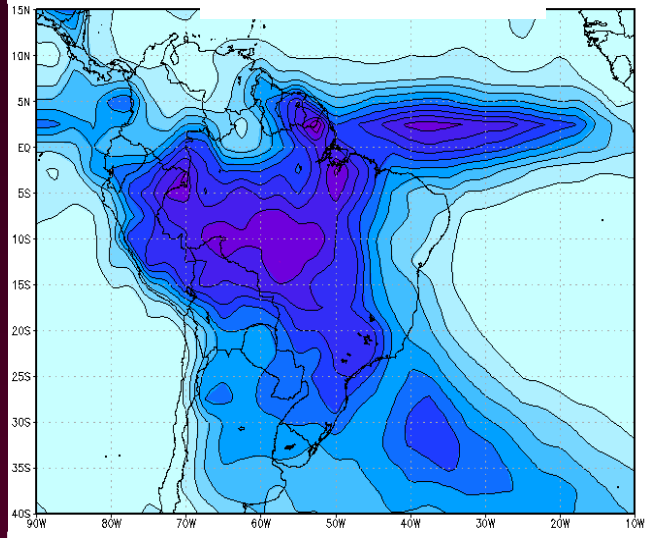
Junquas et al. (2011)

REGIONAL VALIDATION

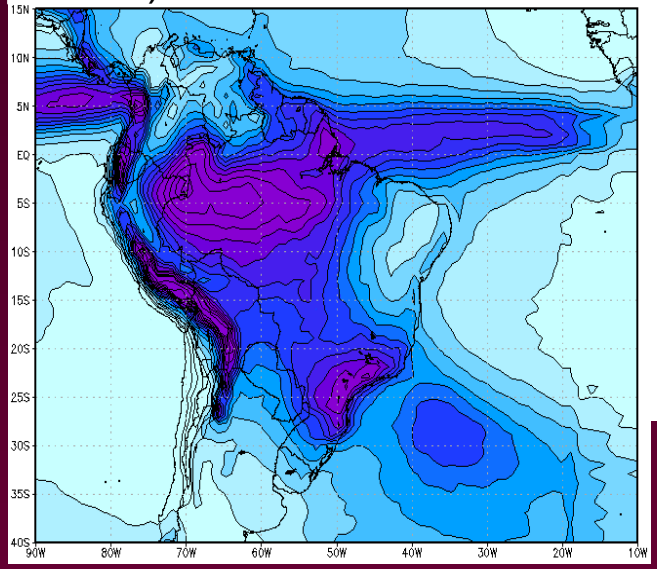
RAINFALL (mm/day)

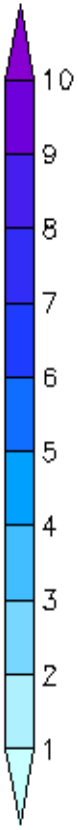
Humidity flux vertically integrated between 1000 and 300 hPa

Observations

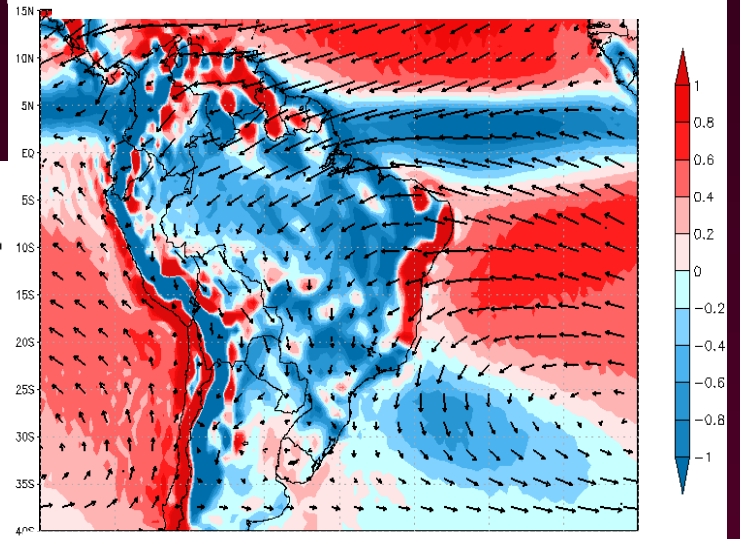


b) Control simulations

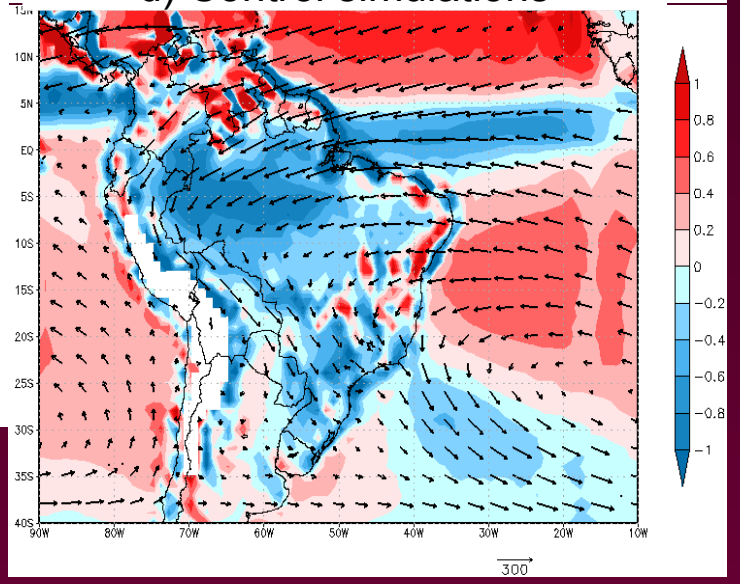




Observations

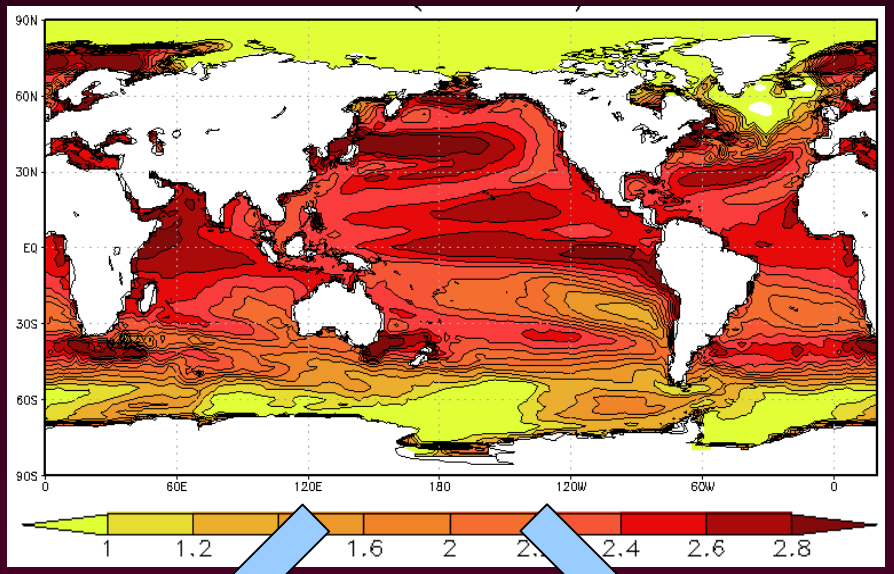


d) Control simulations



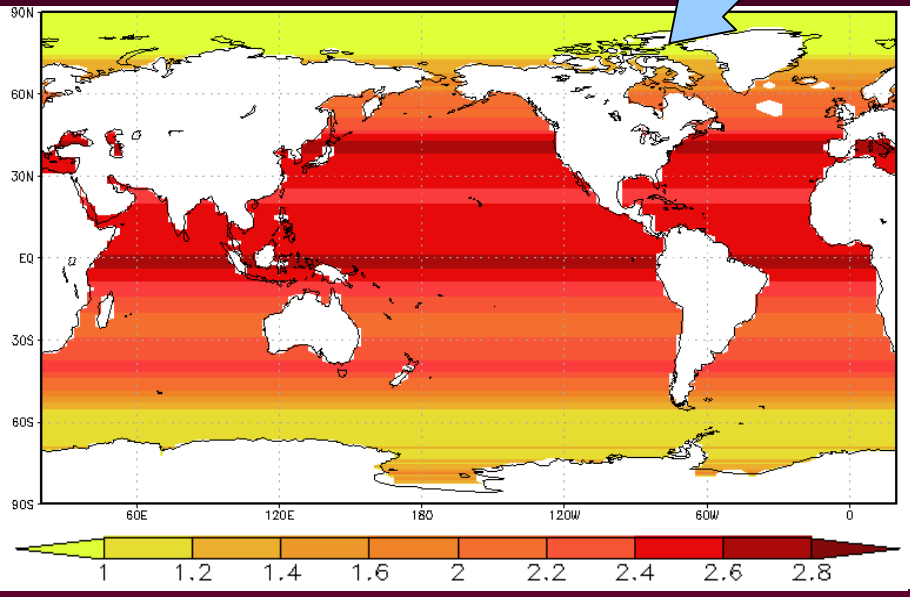
Las condiciones de clima futuro se simulan forzando al modelo atmosférico con condiciones del océano superficial que incluyen los cambios climáticos proyectados

Total SST change

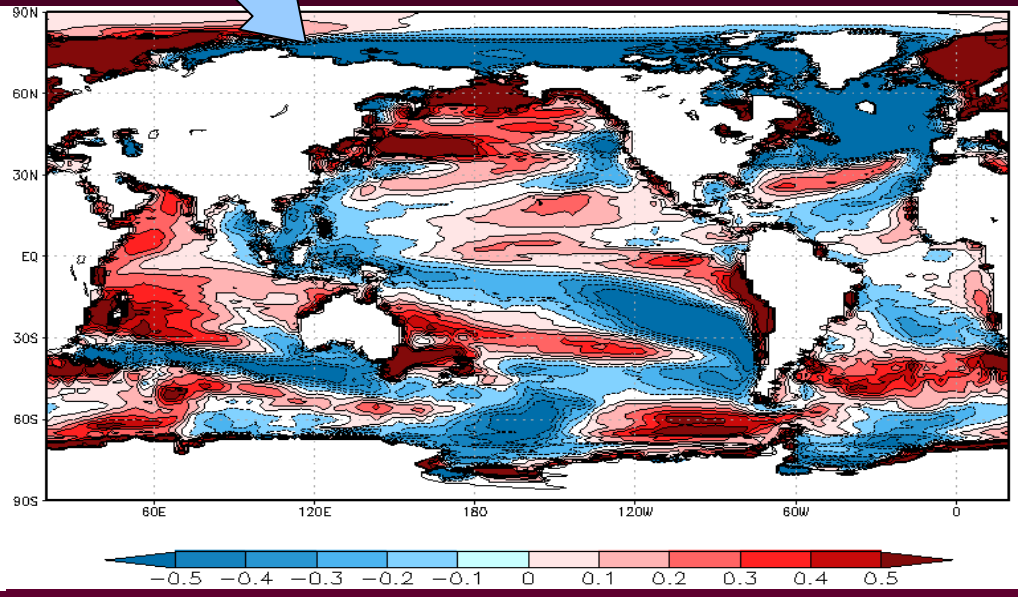


Projected SST change by the WCRP-CMIP3 models by the end of XXI century

Zonal SST change



Total - Zonal SST change

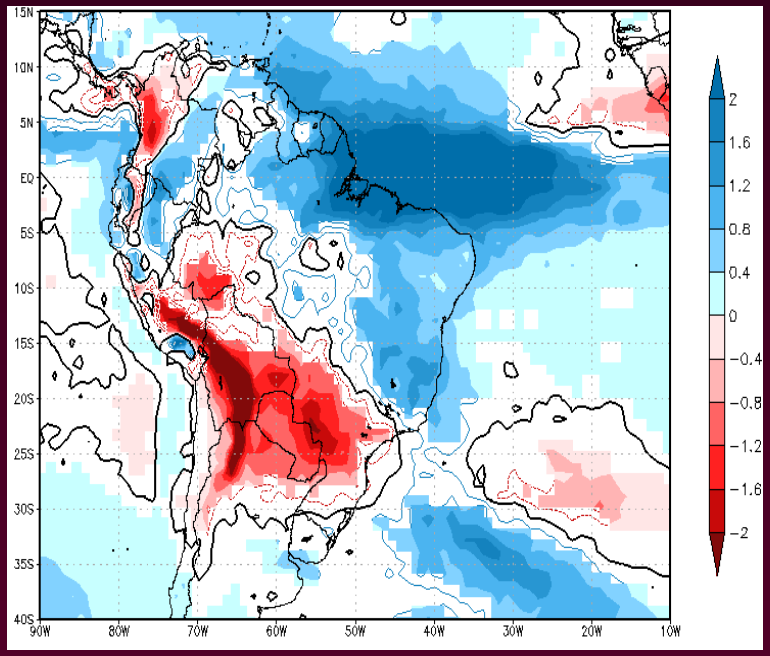


→ **Symmetric warming**

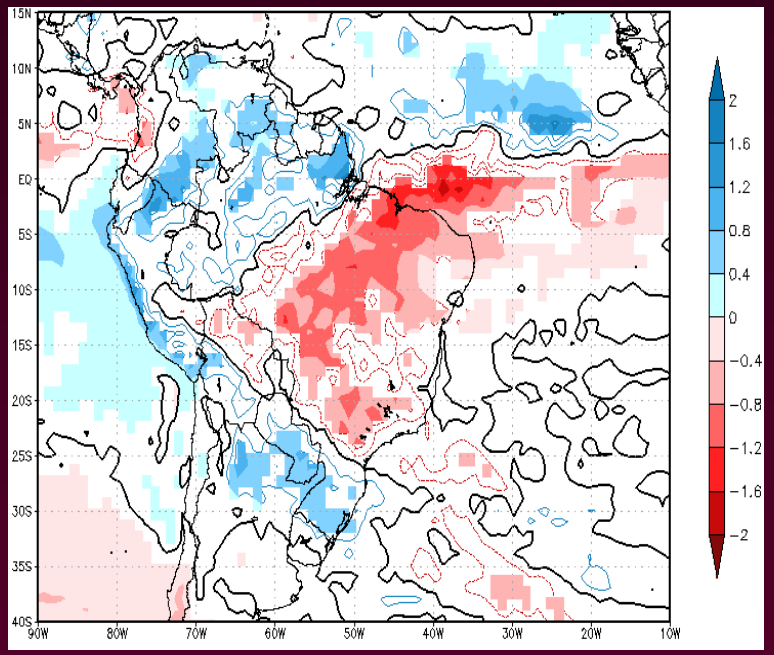
→ **Asymmetric signal**

SIMULATED RAINFALL CHANGE IN SOUTH AMERICA

Response to a zonally symmetric SST change



Response to an asymmetric SST change



- Zonally symmetric SST change → rainfall decrease in subtropical regions

- Asymetrical SST change → rainfall increase in southeastern South America and decreases in the SACZ region

Uncertainty levels are large among the simulation ensemble members.

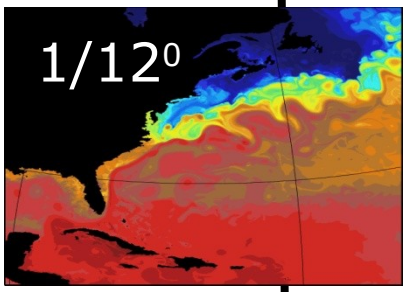
CONCLUSIONES

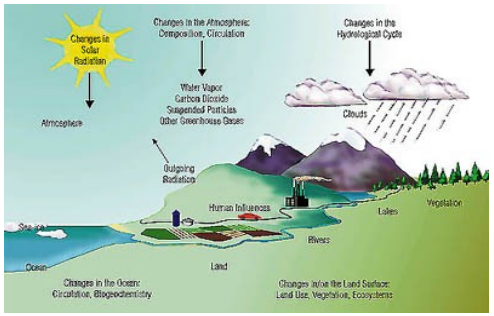
- Las simulaciones climáticas proyectan un aumento de las precipitaciones de verano en el sudeste de Sudamérica para fines del siglo XXI.
- Tal tendencia es detectada en las observaciones realizadas en el siglo XX.
- Cambios en los patrones de variabilidad interanual de la precipitación asociados con variaciones en las condiciones oceánicas superficiales del Pacífico-Indico ecuatorial parecen explicar tales tendencias.
- Experimentos numéricos confirman la influencia de las variaciones del Pacifico-Indico ecuatorial sobre las tendencias de la precipitación regional del sudeste de Sudamérica pero las incertidumbres son todavía grandes

Limitaciones de las actuales proyecciones climáticas:

- Representan estados climáticos y no constituyen predicciones climáticas.
- Los actuales modelos numéricos tienen limitaciones en representar correctamente patrones climáticos como la cantidad de lluvia en las regiones continentales, la actividad de las tormentas de latitudes medias, la dinámica del fenómeno del Niño etc.
- Tales deficiencias limitan la calidad de las proyecciones climáticas regionales que todavía exhiben un rango de incertidumbres que necesita ser reducido

Demandas compitiendo al mejorar las proyecciones climáticas:



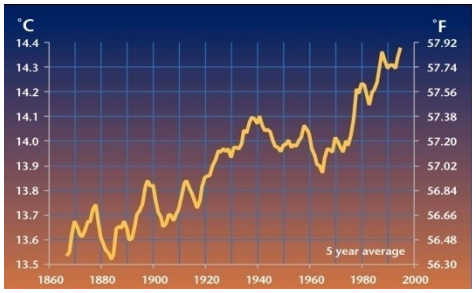


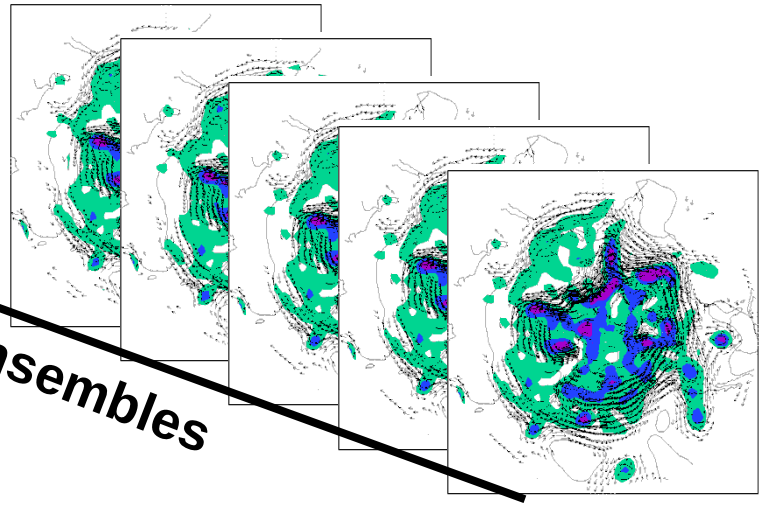
Resolución

Recursos Computacionales

Complejidad

Duración y tamaño de los ensembles





Giorgi 2007

They say they want a revolution

Climate scientists call for major new modelling facility.

Climatologists have called for massive investment in computer and research resources to help revolutionize modelling capabilities. The — to speeds in the hundreds of petaflops — would allow modellers to study simulations at the kilometre scale, enabling better predictions

Article in Nature, May 2008

eventual aim is to provic
predictions that are as
weather forecasts.

At the end of a four-da
at the European Centr
Weather Forecasts in Rea
made the case for a clim
on the scale of the Hum
key component of this
cost something up to,
lars, would be a world cl
research facility with co—

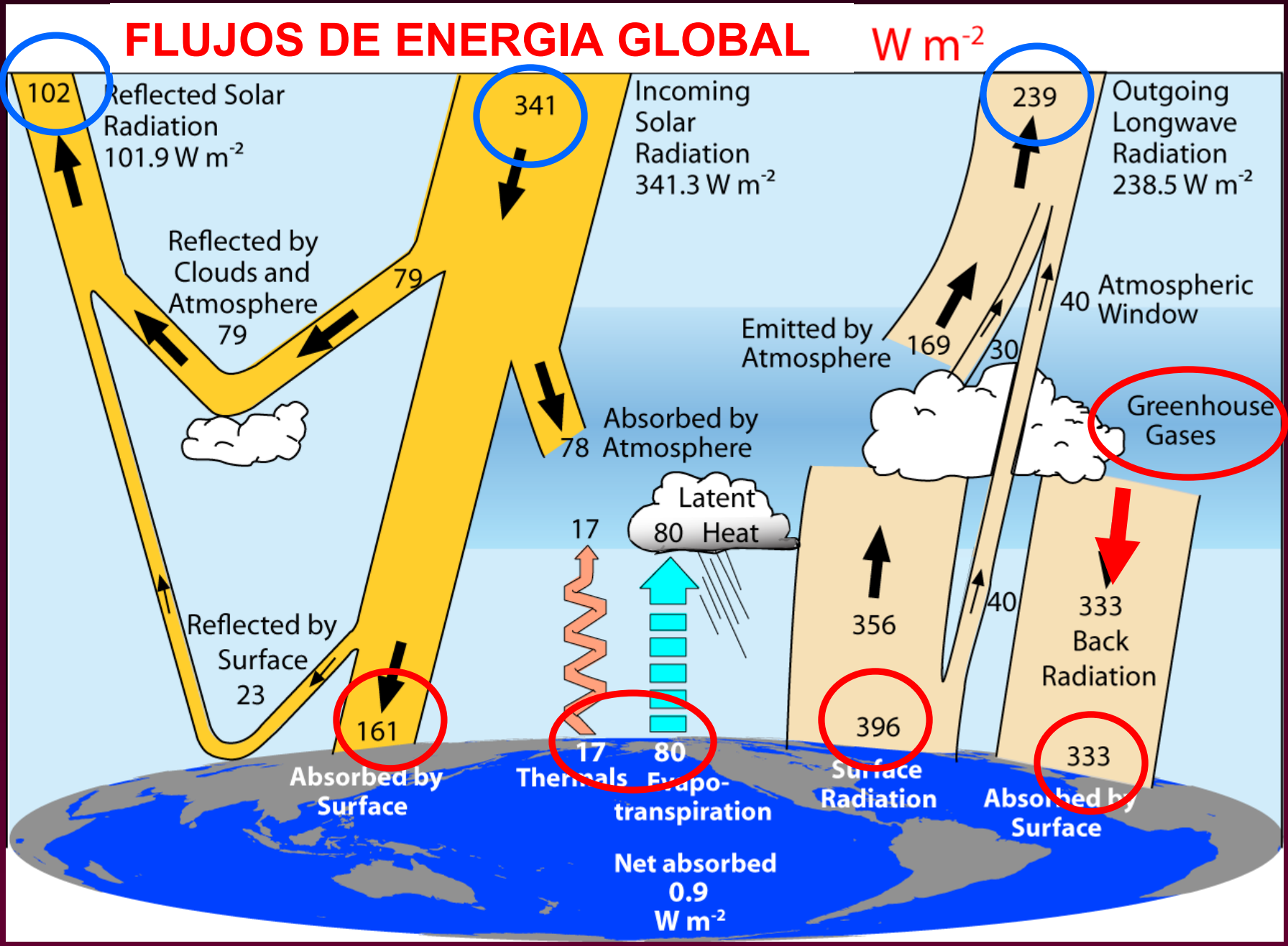
Researchers from around the world gathered in Reading, UK, for the summit.

Fortalecimiento de la cooperación internacional para avanzar en la complejidad de los modelos

WCRP
World Climate Research Programme

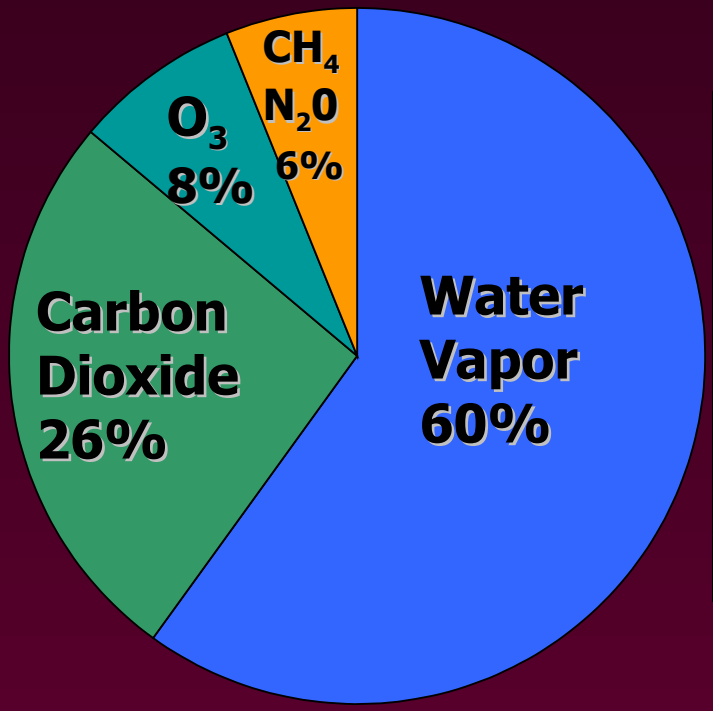
Desafíos futuros

- Reducir los niveles de incertidumbre en las cuantificaciones de los cambios cimáticos futuros
- Explorar la influencia de las variaciones naturales del clima en escalas decadales en reforzar o debilitar la señal de cambio climático (WCRP-CMIP5)
- Explorar el efecto de los cambios en el uso de la tierra en el sur de Sudamérica en las variaciones de la precipitación de Verano



2000-2005 Trenberth et al 2009

EFECTO INVERNADERO: EFECTO NATURAL



Condensación: libera calor en la atmósfera baja

Evaporación: extrae calor de la superficie terrestre

Componentes del forzante radiativo

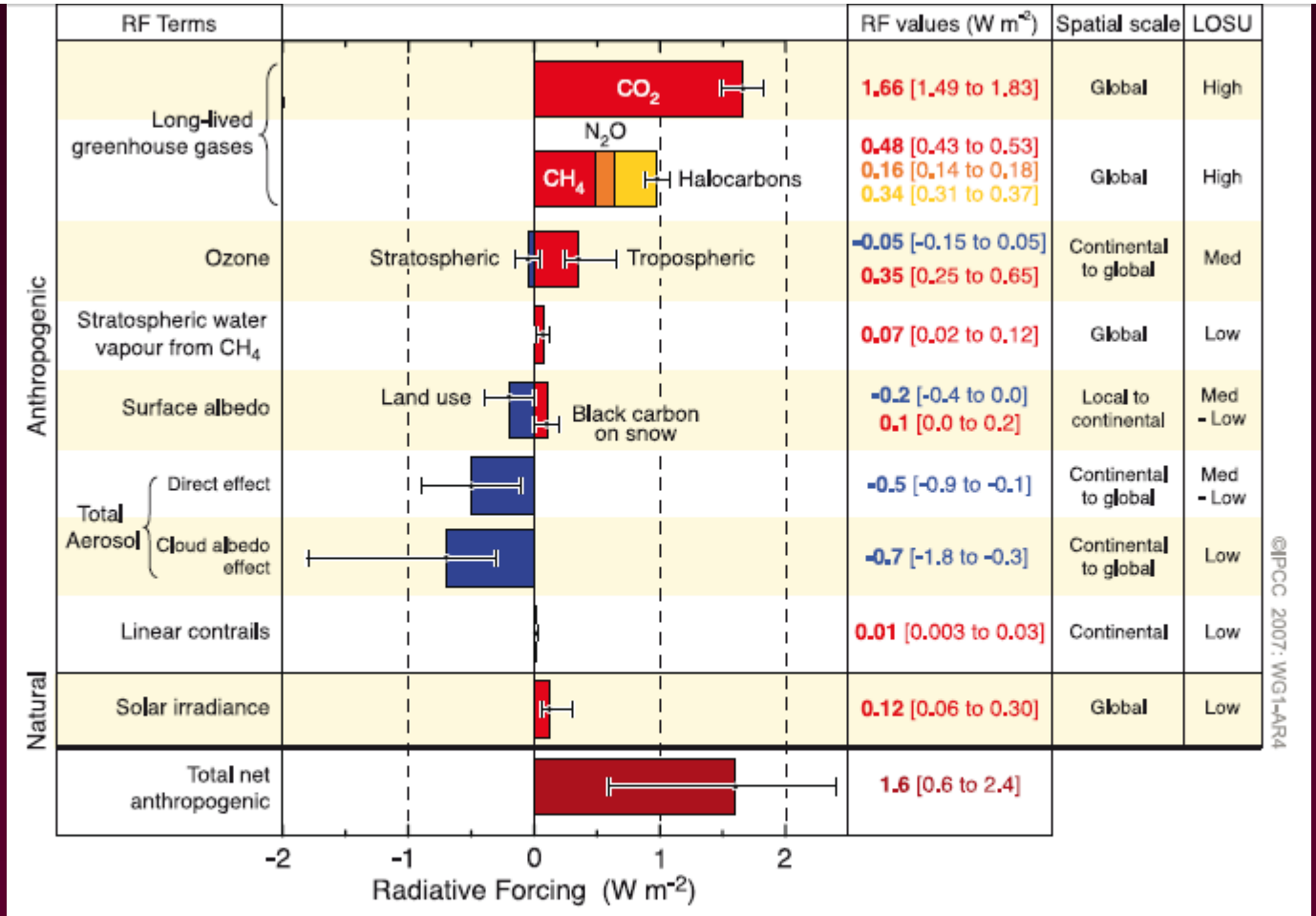


Figure SPM.2. *Global average radiative forcing (RF) estimates and ranges in 2005 for anthropogenic carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O) and other important agents and mechanisms, together with the typical geographical extent (spatial scale) of the forcing and the assessed level of scientific understanding (LOSU). The net anthropogenic radiative forcing and its range are also shown. These require summing asymmetric uncertainty estimates from the component terms, and cannot be obtained by simple addition. Additional forcing factors not included here are considered to have a very low LOSU. Volcanic aerosols contribute an additional natural forcing but are not included in this figure due to their episodic nature. The range for linear contrails does not include other possible effects of aviation on cloudiness. {2.9, Figure 2.20}*

Presentation of the LMDZ two-way nesting model

- The LMDZ-regional model zoomed over South America is connected with the LMDZ-global atmospheric model. They exchange informations each other in one way or the other, depending on the grid position of each point.
- The SST from AMIP dataset are used and are actualised every 24h. They represent the mean climatology of the 1979-1999 period.
- 30 DJF are simulated for each experiment.

T,u,v exchanged every 30 min

GLOBAL MODEL

Number of points :
(96 lon) x (72 lat) x (19 vert)

Resolution : (2.5°,3.75°)

Inside the zoom region

Outside the zoom region

REGIONAL MODEL (zoom over South America)

Number of points :
(120 lon) x (121 lat) x (19 vert)

Resolution :
zoom(1°,1°)
Exterior(2.6°,8°)

Center of zoom :
x zoom = -55°
y zoom = -22,5°

Extension :
(82,8°, 82.8°)

The Extended Orthogonal Function Technique

- In the last several decades, major efforts in extracting important patterns from measurements of atmospheric variables have been made.
- One of the most common techniques is the Empirical Orthogonal Function (EOF) technique. EOF aims at finding a new set of variables that capture most of the observed variance from the data through a linear combination of the original variables.

$$Q'(x,y,t) = \sum_{k=1}^{K} EOF_k(x,y) \cdot PC_k(t)$$

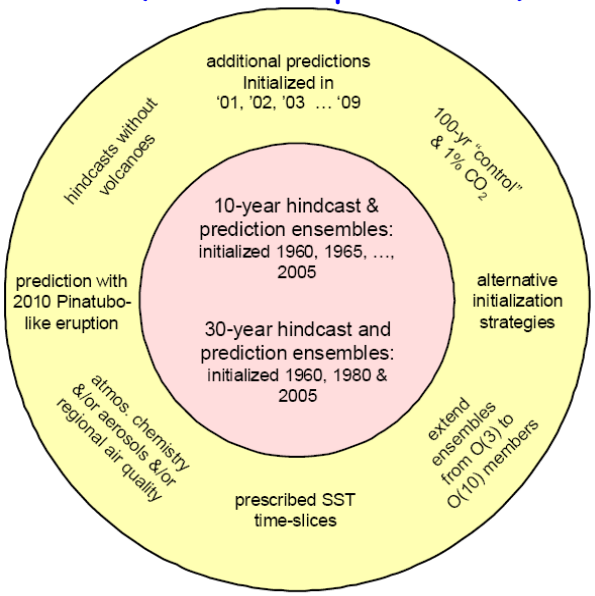
- Kutzbach, J. E., 1967: Empirical eigenvectors of sea-level pressure, surface temperature and precipitation complexes over North America. J. Appl.Meteor., 6, 791-802.

von Storch, H., and F. W. Zwiers, 1999: Statistical Analysis in Climateresearch, Cambridge University Press, Cambridge

Back

CMIP5 Includes Several Types of Simulations

"Near-Term" Experiments (decadal, up to 2035)

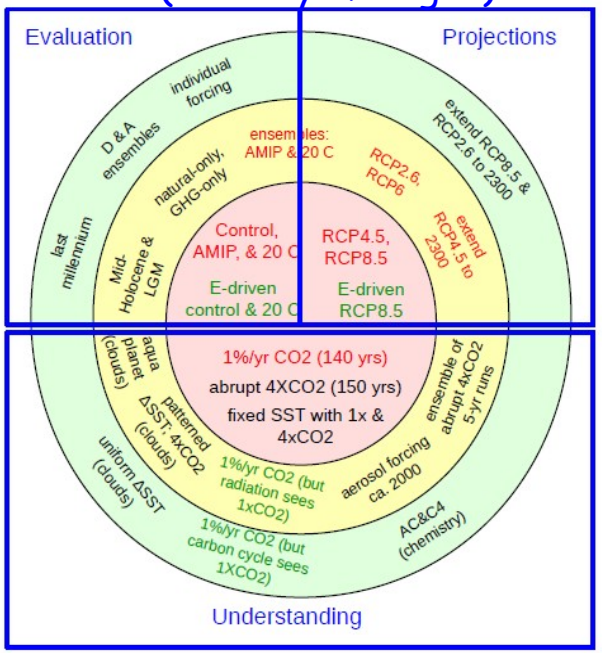


Overseen by the **WGCM-WGSIP**
Decadal Climate Prediction Panel
(chair: George Boer)

→ 10-year & 30-year hindcasts and predictions
→ climate predictability
→ impact of initialization methods
→ impact quality of the ocean initial state

Nb of models: CORE: 17, Tier1: 3-10
Mean Resol: 1.3 deg (atm); 0.8 deg (ocean)

"Long-Term" Experiments (century & longer)



→ current climate, paleo-climates (PMIP)
→ satellite simulator + process outputs(CFMIP)
→ RCPs; with/without carbon feedbacks
→ radiative forcings;
→ physical (e.g. clouds) & biogeochemical (carbon, aerosols) feedbacks
→ idealized expts (e.g. aqua-planet)

Nb of models: CORE: 15-27, Tier1,2: 7-15
Mean Resol: 2.1 deg (atm); 0.9 deg (ocean)