

Control extratropical de las zonas de convergencia tropicales

Dr. Marcelo Barreiro

**Departamento de Ciencias de la Atmósfera
Facultad de Ciencias, Universidad de la República**



FACULTAD DE
CIENCIAS

UDELAR fcien.edu.uy

Integrantes del Departamento



Madeleine



Verónica



Fernando



Stefanie



Romina



Matilde



Camila



Gastón



Natalia



Santiago

Pablo, Gianina,
Roxana

Motivación: ¿Por qué estudiar forzantes térmicos extratropicales?

Patrón de Calentamiento Global:

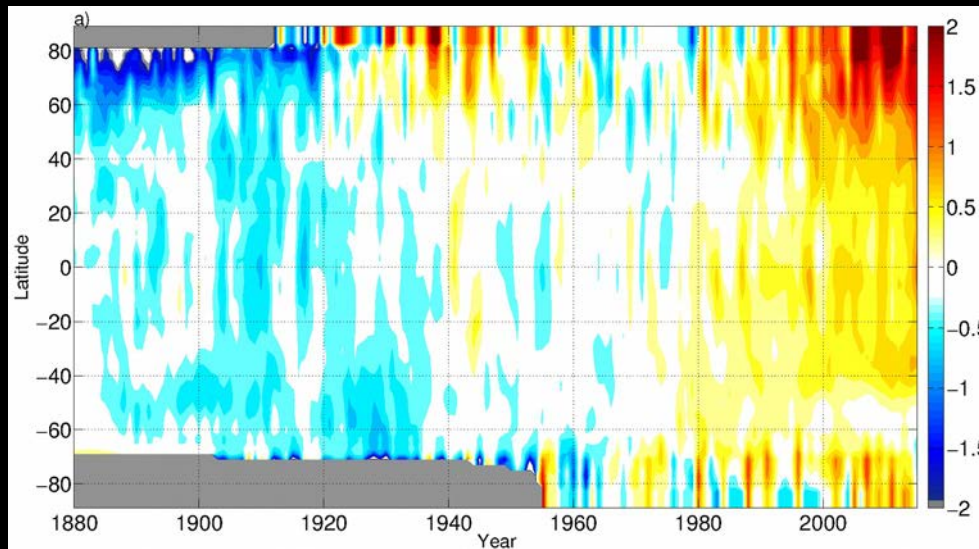


Diagrama tiempo-latitud de anomalías de temperatura media anual zonal (°C).

Período Base: 1951-1980. Datos de GISTEMP

- No es uniforme
- Asimetría inter-hemisférica
- Desde 1980: Amplificación del calentamiento en HN, desde 40°N.

- Proyecciones a futuro:

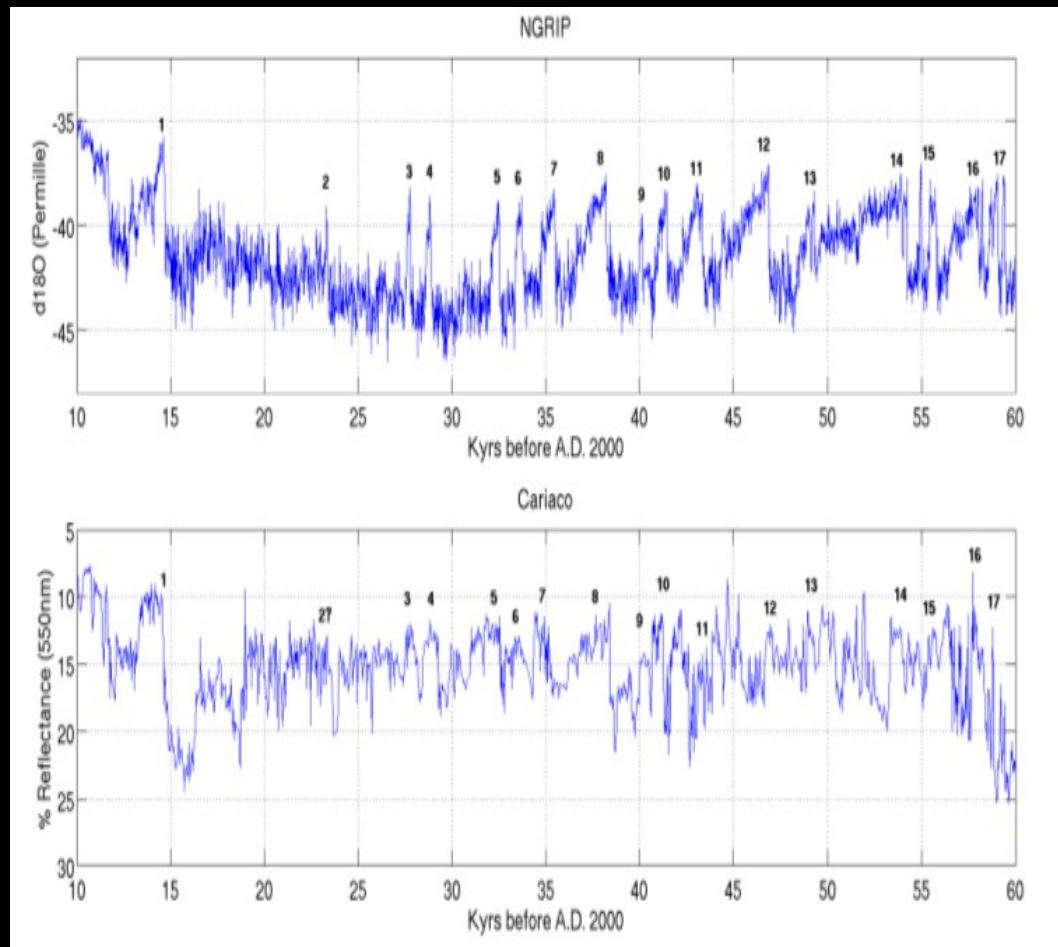
HN se calentará más rápido que HS

Friedman et al. (2013)

Motivación: Evidencia de que los extratrópicos pueden afectar a los trópicos

- Datos paleoclimáticos
- Observaciones del SXX
- Simulaciones Numéricas

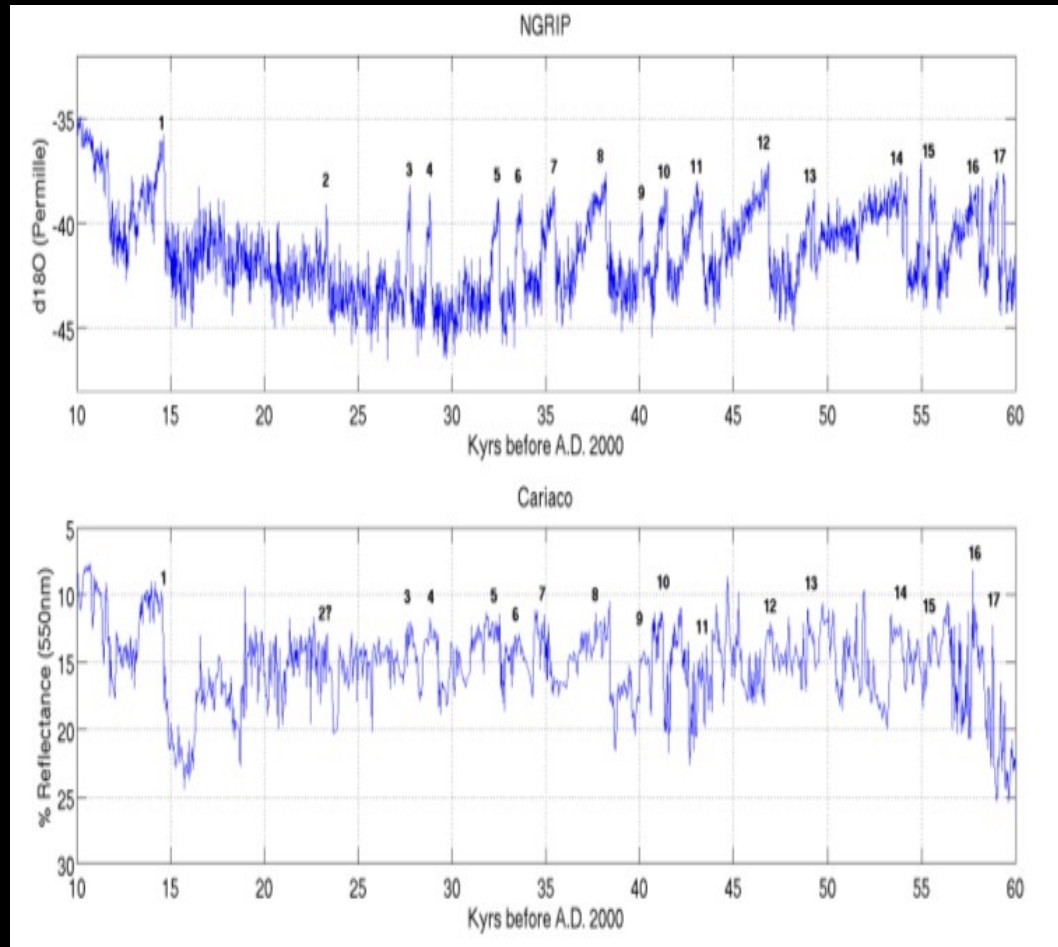
Motivación: Datos Paleoclimáticos



Paleoproxies

- Temperatura en Groenlandia del North GRIP ice core. Eventos D/O están numerados.
- Registros de sedimentos (550nm reflectancia), Cariaco Basin.

Motivación: Datos Paleoclimáticos



Eventos Dansgaard-Oeschger (D/O):

- Calentamientos abruptos (3 años-pocas décadas)
- Calentamientos amplios ($\sim 10^{\circ}\text{C}$)
- Seguidos de enfriamientos más graduales

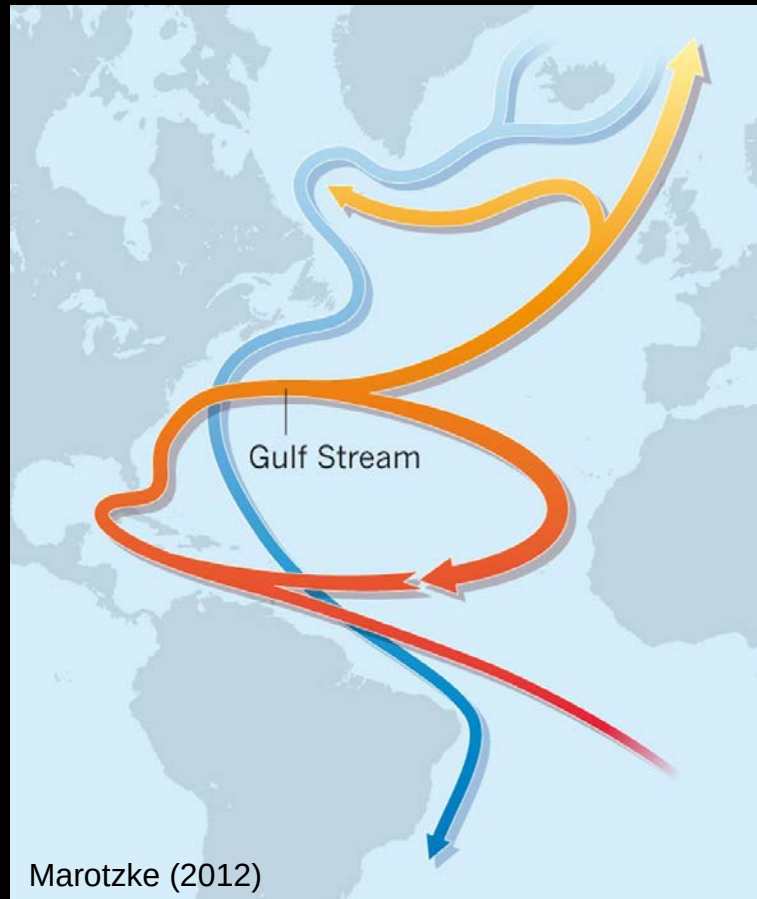
Eventos D/O están sincronizados con cambios hidrológicos en la cuenca del Cariaco, Venezuela.

Chiang and Friedman (2012)

Paleoproxies

- a. Temperatura en Groenlandia del North GRIP ice core. Eventos D/O están numerados.
- b. Registros de sedimentos (550nm reflectancia), Cariaco Basin.

Motivación: Datos Paleoclimáticos

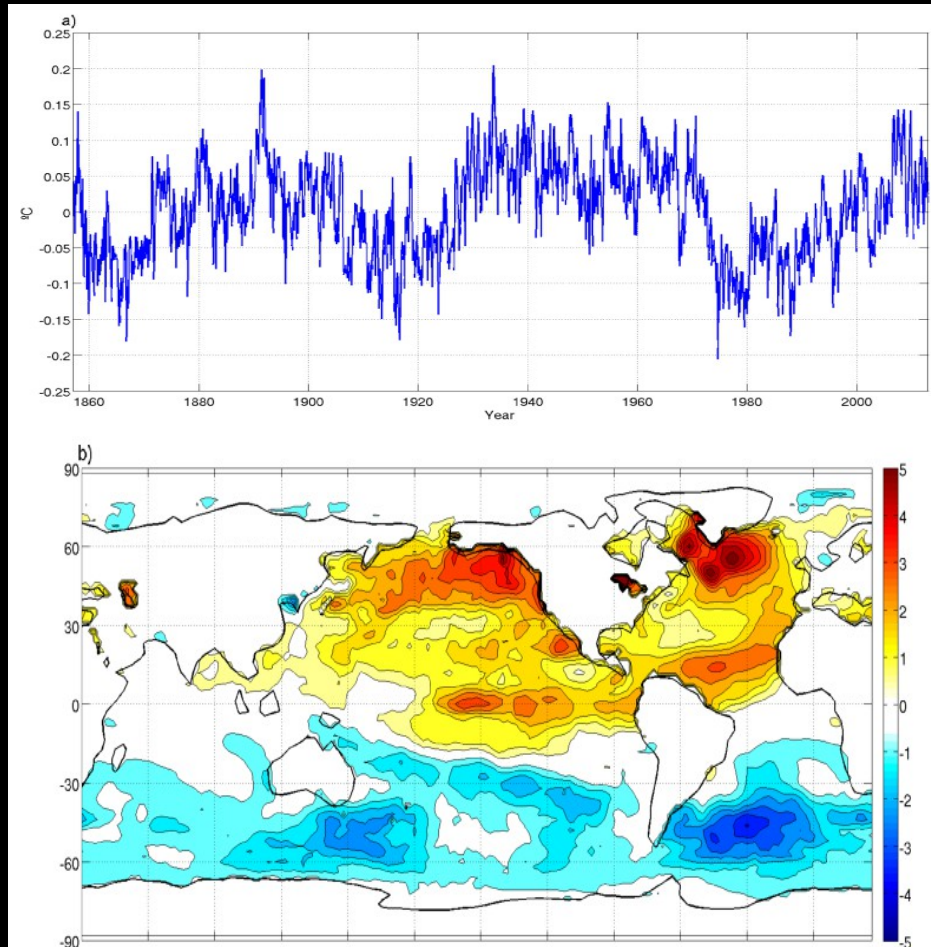


- Los calentamientos abruptos se desencadenarían a través de una intensificación en la **Circulación Meridional del Atlántico (AMOC)**

AMOC:

- Rama superficial salina y cálida que fluye hacia el Norte
- Región de hundimiento en los mares de Noruega-Groenlandia y Labrador
- Rama profunda fría que fluye hacia el Sur

Motivación: Datos Paleoclimáticos



a. Serie temporal índice AMO (°C).
b. Regresión de TSM en serie temporal de AMO.
Datos mensuales, 1857-2013.

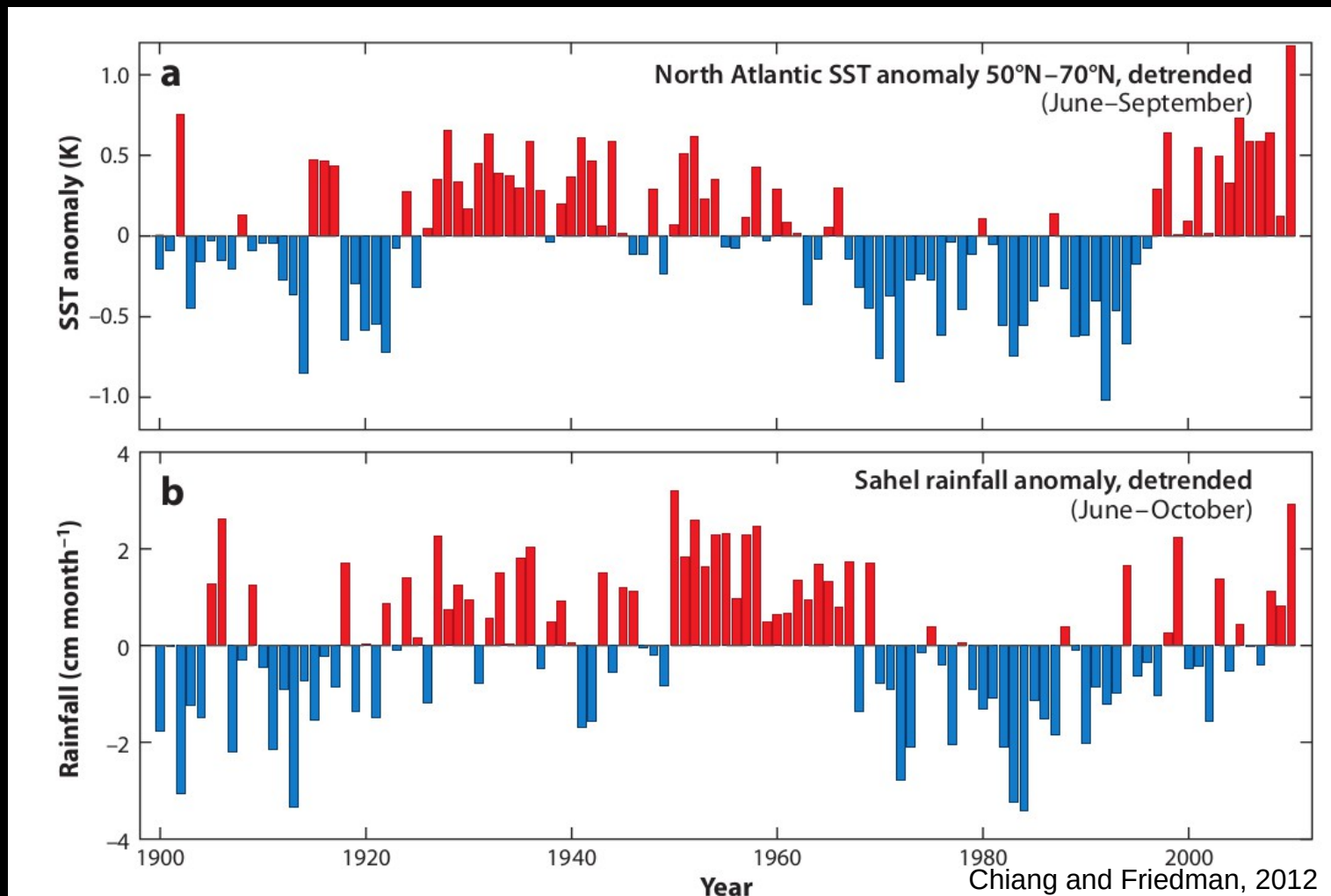
Variabilidad de baja frecuencia de AMOC:

- Señal en Temperatura de Superficie de Mar (TSM): Similar a la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)
- AMOC intensificada ↔ AMO en fase positiva

Zhang and Wang (2013)

Motivación: Observaciones SXX

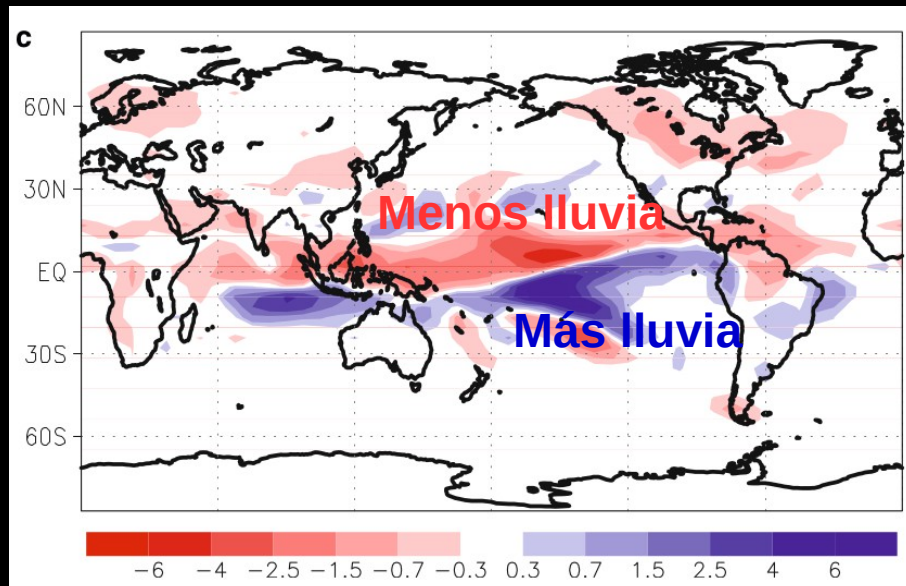
Relación entre TSM en Atlántico Norte y precipitación sobre el Sahel: Variabilidad Decadal



Motivación: Simulaciones Numéricas

Aumento del hielo en latitudes altas del
HN →
Zona de Convergencia Intertropical
(ITCZ) se mueve hacia el sur

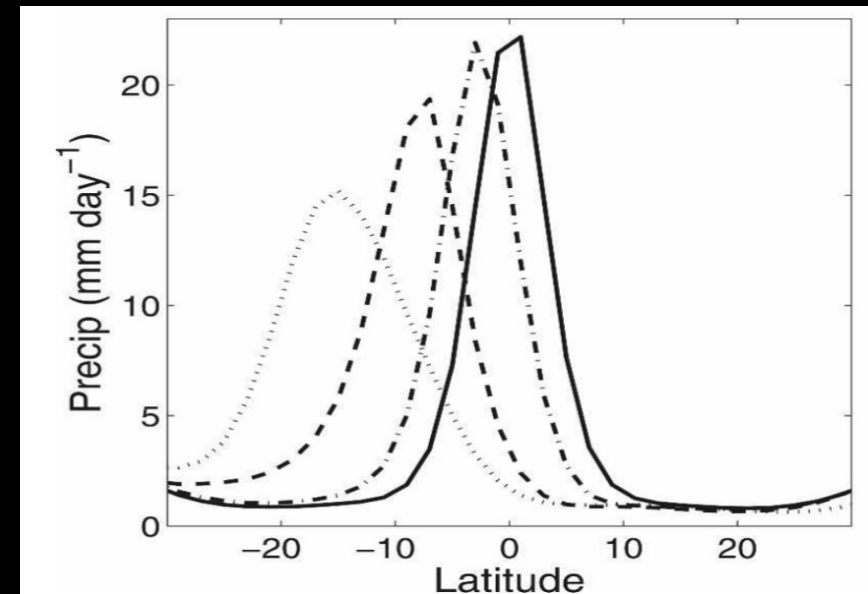
Anomalías de precipitación



Chiang and Bitz, 2005.

Simulaciones en modo Aquaplanet,
AGCM + slab en océano

Gradiente térmico interhemisférico →
ITCZ se mueve al hemisferio más
cálido



Kang et al, 2008., 2009, 2012

**ITCZ se mueve hacia el Hemisferio más
cálido**

Argumentan que la ITCZ se mueve
para mantener el balance
energético de la atmósfera. El rol
de la SST es secundario.

Motivación: Evidencia de que los extratropicos pueden afectar a los trópicos

Experimentos:

Prescripcion de ciclo estacional de nubes (ISCCP). Nubes son reducidas en 50% en extratropicos.

ECBILT-CLIO

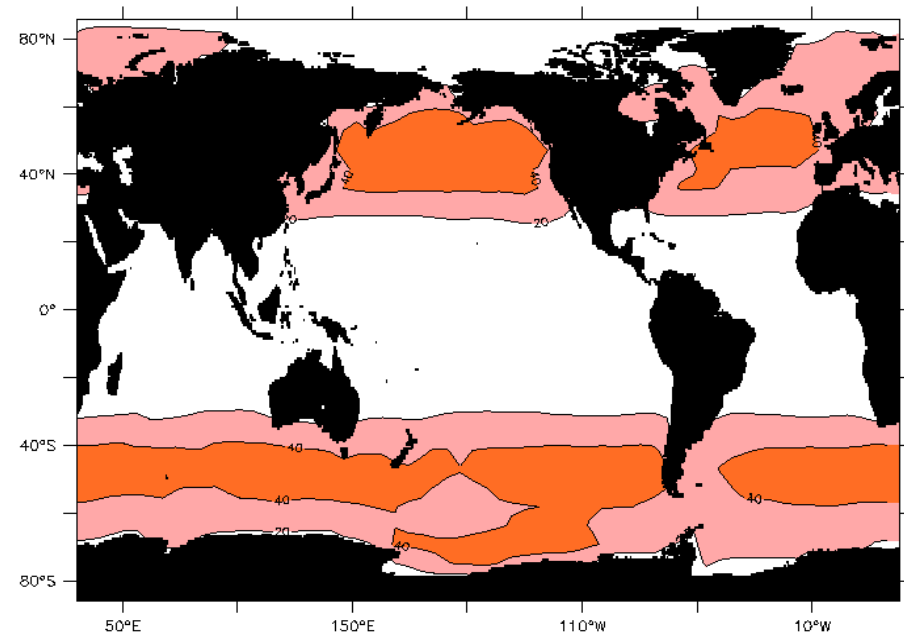
Modelo acoplado de
complejidad intermedia

Atmosfera: T21, 3 levels,

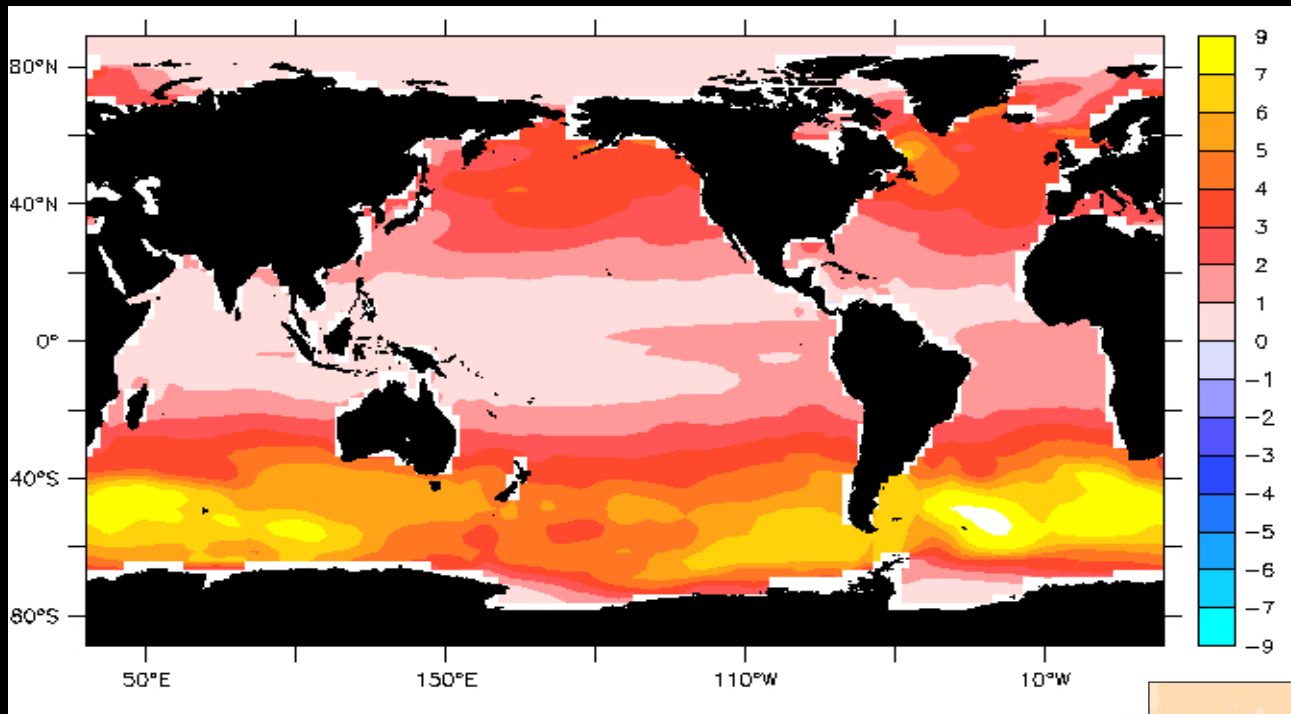
Oceano: 3x3, 20 levels

(Barreiro y Philander 2009)

Anomalia de SW impuesta

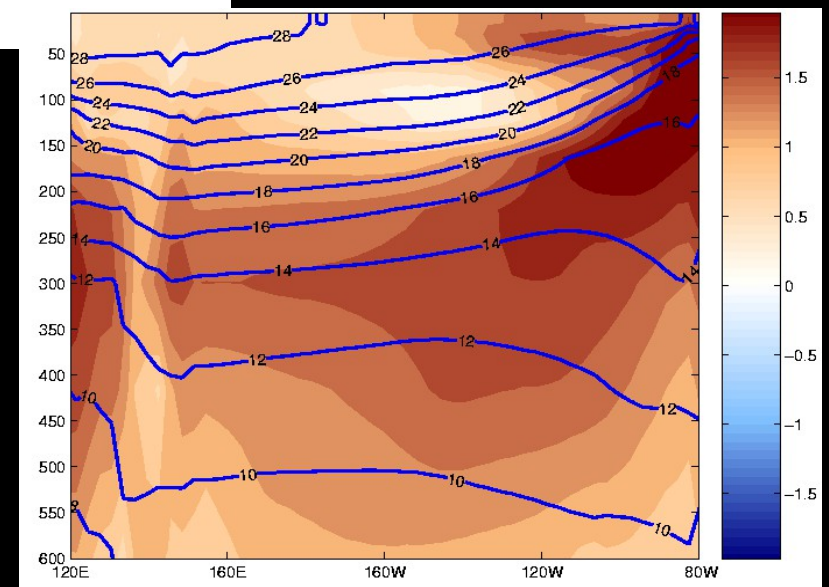


Motivación: Evidencia de que los extratropicos pueden afectar a los trópicos



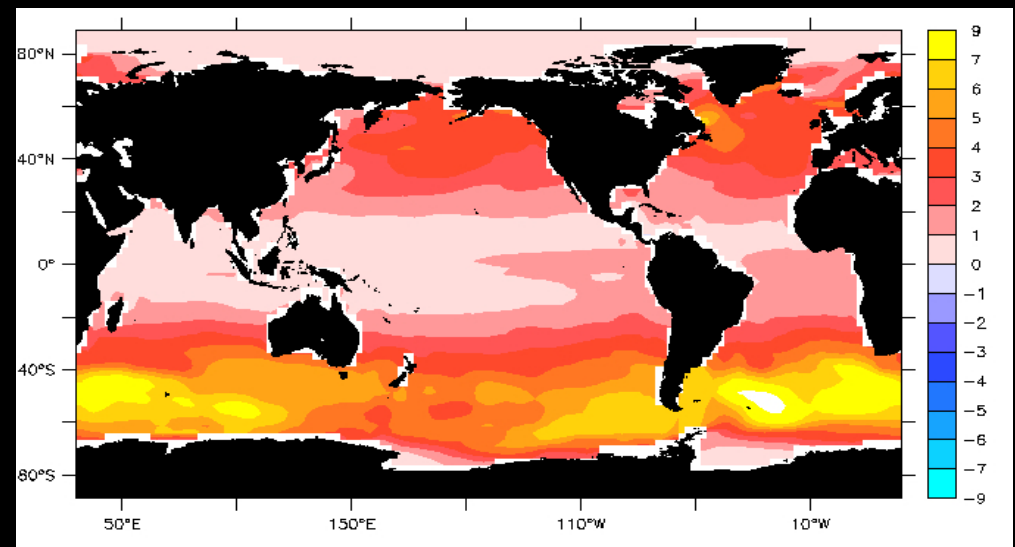
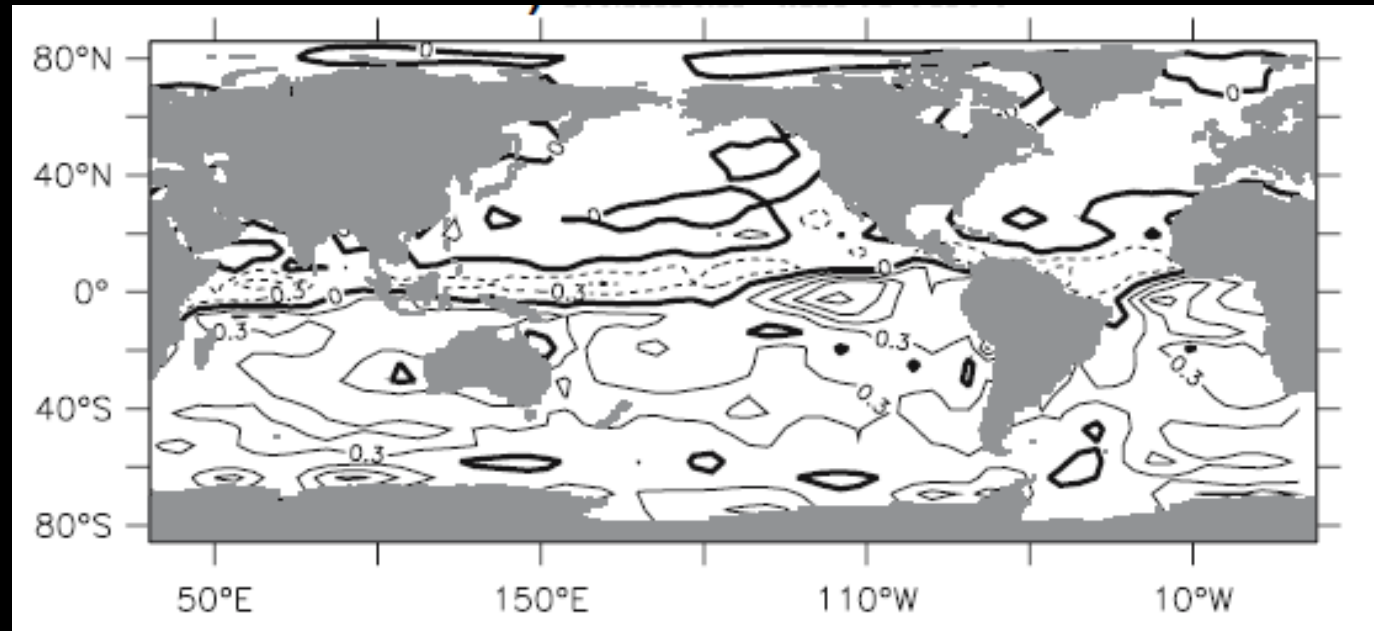
El aumento de radiación en los extratropicos calienta latitudes altas y la region ecuatorial, disminuyendo la lengua fria.

La anomalia de TSM ecuatorial se recupera con AGCM+oceano slab.



Motivación: Evidencia de que los extratropicales pueden afectar a los trópicos

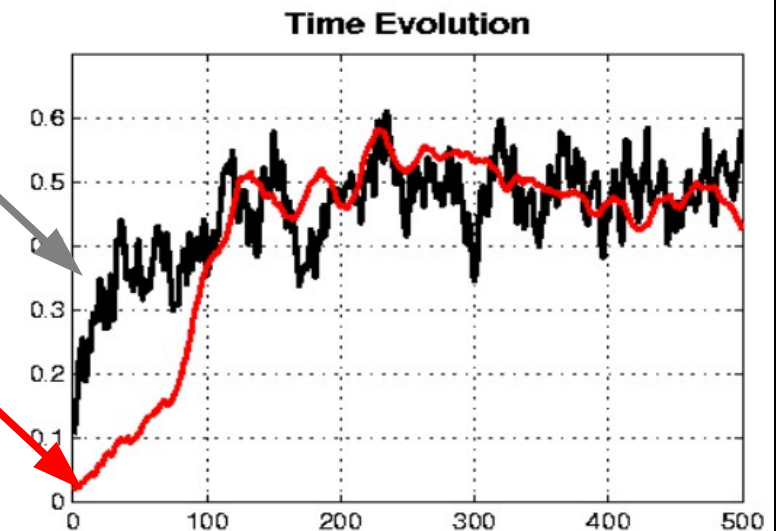
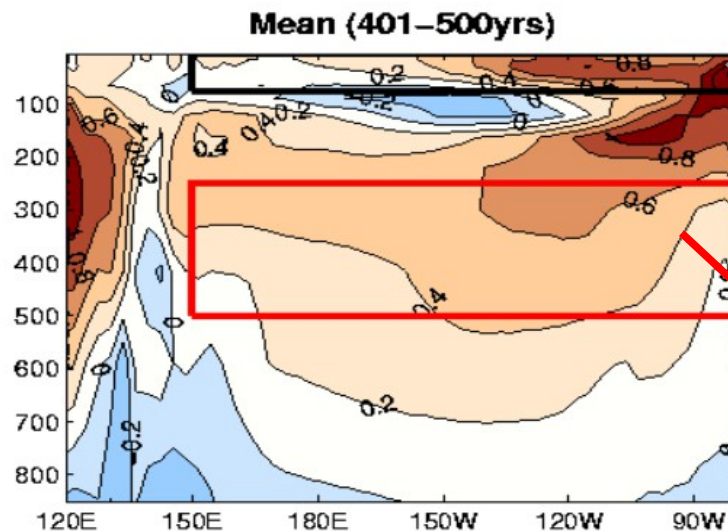
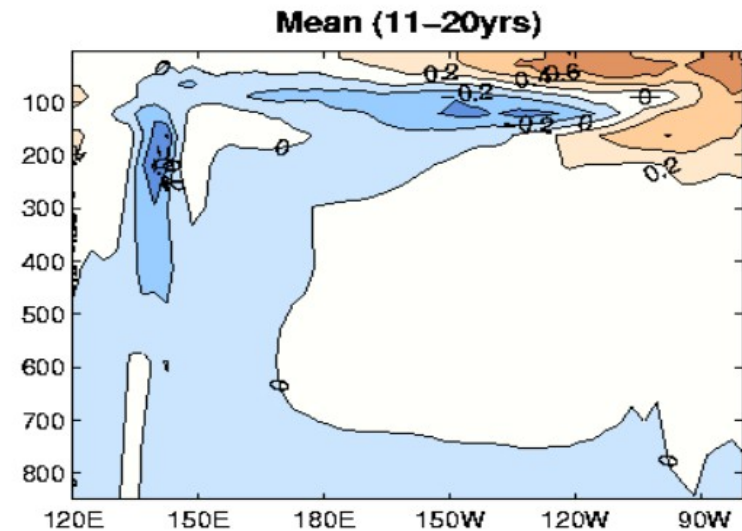
La ITCZ responde a la disminución de la lengua fría en las regiones ecuatoriales



Motivación: Evidencia de que los extratropicos pueden afectar a los trópicos

En superficie el Pacifico ecuatorial se ajusta en 10-20 años → **conexión atmosférica**

En subsuperficie el océano se ajusta mas lentamente, dando un tiempo de ajuste total de ~120 years. → **ajuste dinamico del oceano a τ y tunel oceánico**

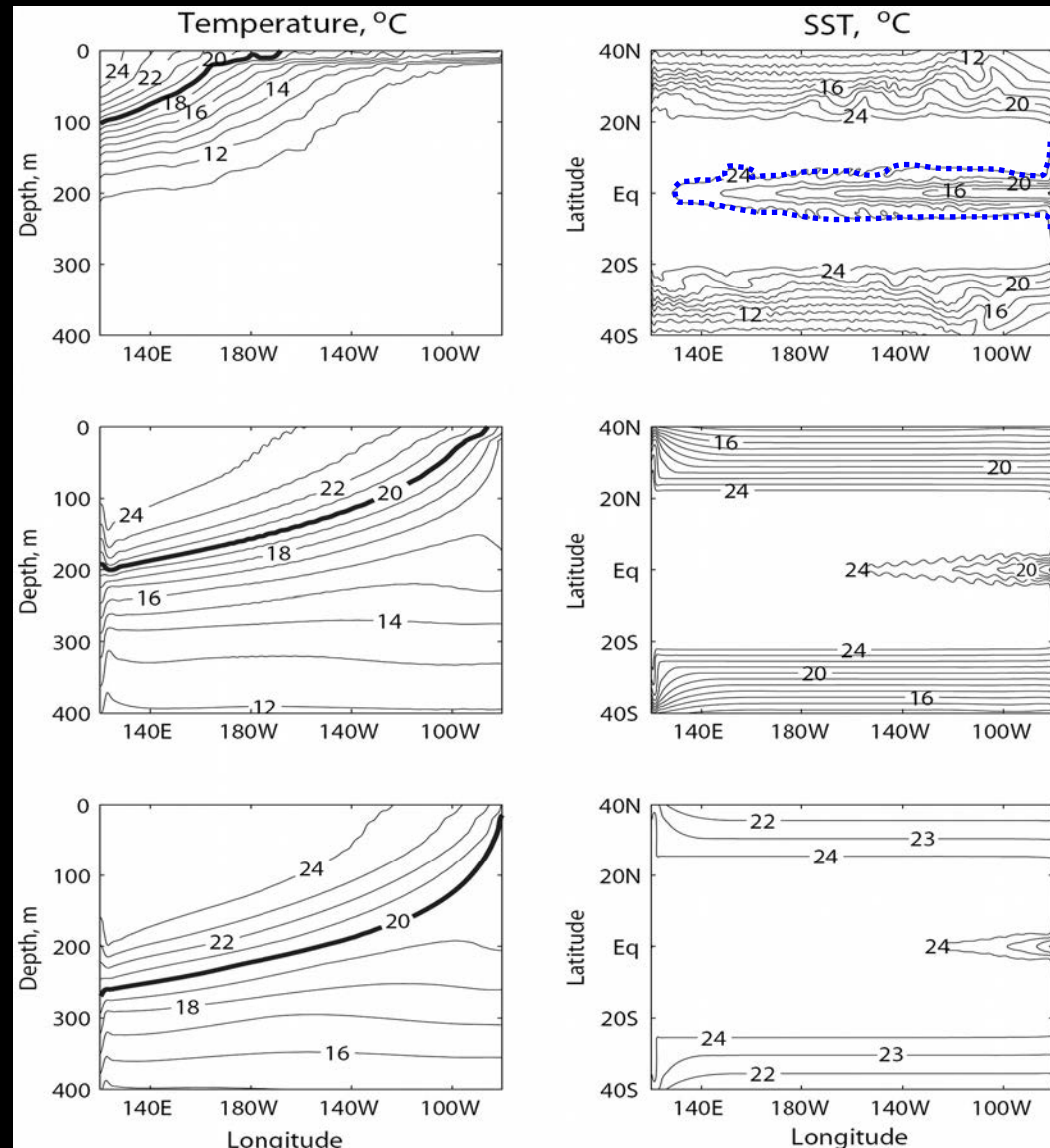


El resultado es consistente con Bocaletti et al (2004), Barreiro et al (2008)

Balance de energía oceánico controla la profundidad de la termoclina y por lo tanto la TSM en la región ecuatorial

Pero, en el modelo acoplado la conexión se da ppalmente a través de la atmósfera

Estructura ecuatorial TSM



$T^* = 5^\circ\text{C}$

*Latitude
s altas
frias*

$T^* = 10^\circ\text{C}$
C

$T^* = 15^\circ\text{C}$
C

*Latitude
s altas
calidas*

Objetivo

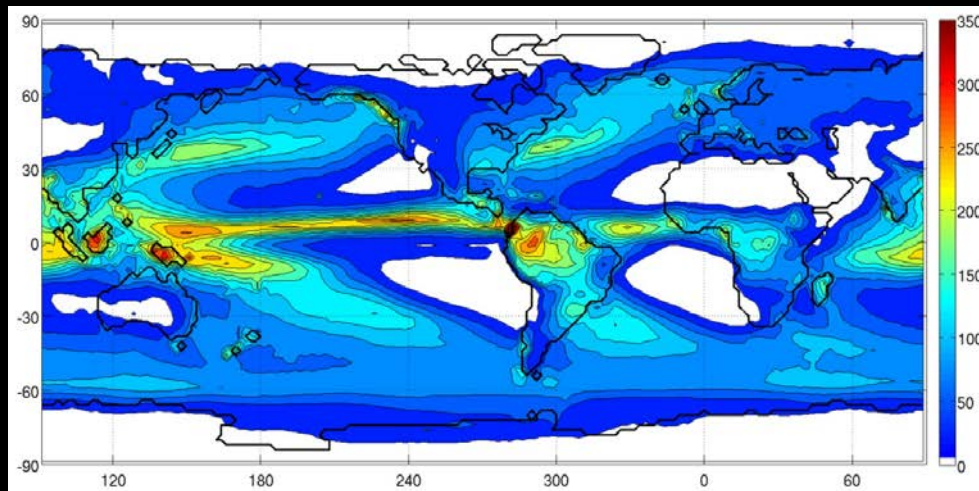
Investigar la **sensibilidad del clima tropical** a un **forzante térmico extratropical asimétrico** mediante una **serie de simulaciones numéricas** con un MCGA.

- Foco en la conexión rápida a través de la atmósfera
- Forzante representativo de CC y cambios climáticos pasados

Objetivo

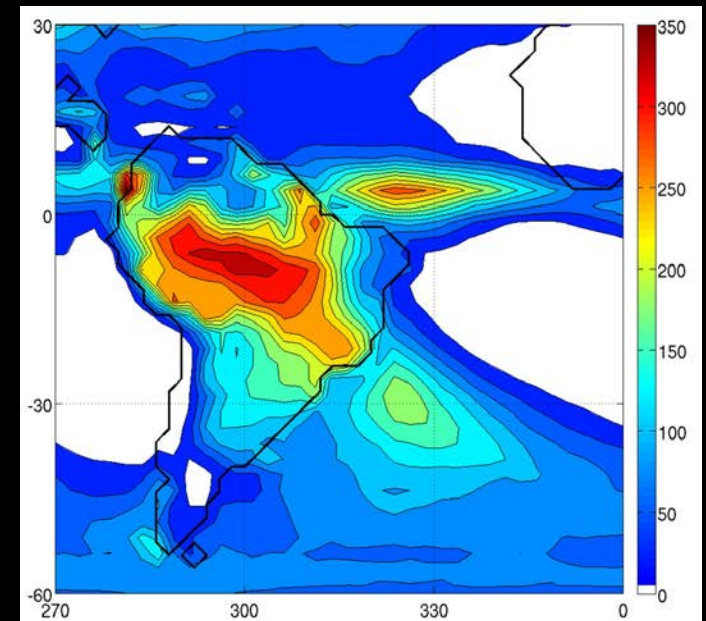
El foco estará en el comportamiento de dos zonas de convergencia:

Zona de Convergencia Inter Tropical
(ITCZ)



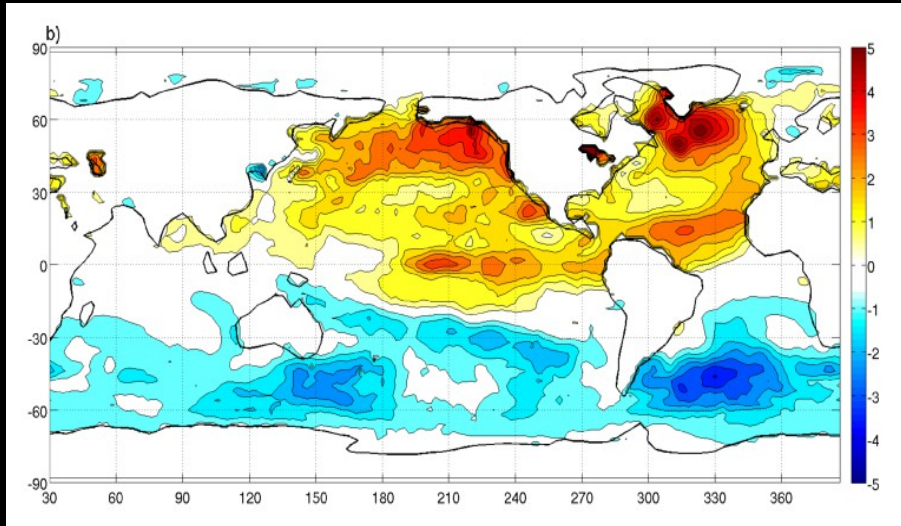
Precipitación media anual. Intervalo: 25 mm/mes.

Zona de Convergencia del Atlántico Sur
(SACZ)

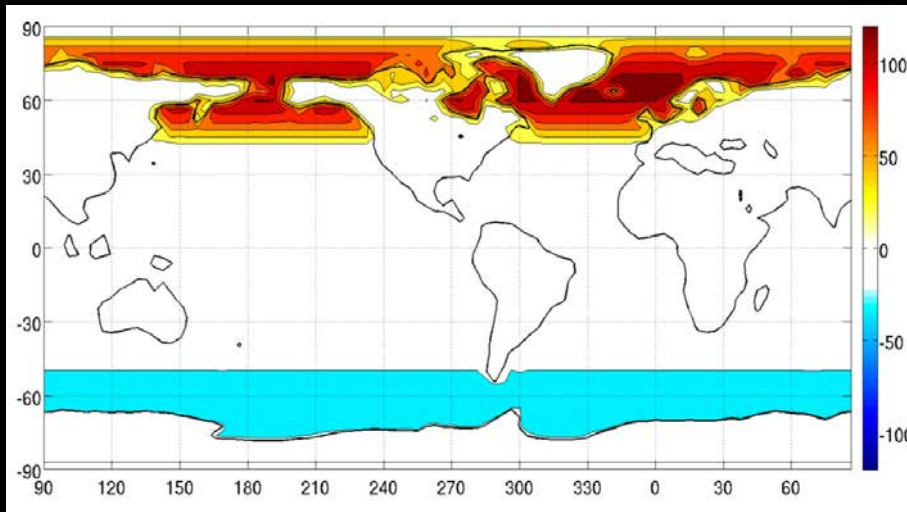


Precipitación media Diciembre-Febrero.
Intervalo: 25 mm/mes.

Forzante extratropical



Patrón de TSM de AMO



- Calentamiento HN / Enfriamiento HS
- Desde 40° hacia los polos
- Promedio global nulo

Flujo de Calor impuesto. Convención de signos: positivo fuera del océano. Intervalo de contorno: 20 W/m².

Resultados: 1

**Sensibilidad simulada del Clima Tropical
a Forzante Térmico Extratropical:
TSM tropical y Superficie de África**

Sensibilidad simulada del clima tropical a forzante térmico extratropical: TSM tropical y superficie de África

Obejtivo:

Cuantificar los roles relativos de: la Atmósfera, TSM y TSC Tropicales en la respuesta de la ITCZ sobre el Atlántico y África

Simulaciones:

Atmósfera: ICTP-AGCM T30L8 (Molteni et al 2003)

Océano: Modelo SLAB / TSM fija en alguna región

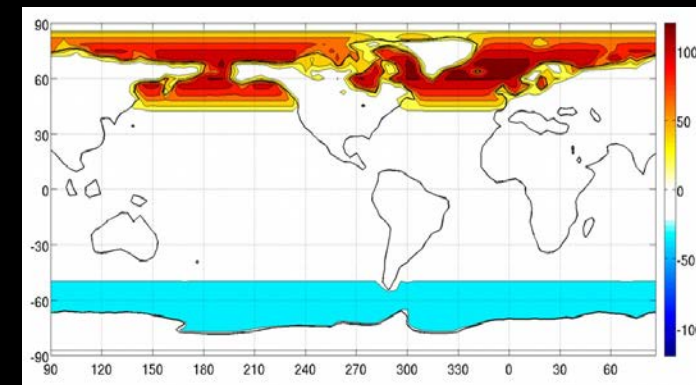
Continente: Modelo SLAB / TSC fija en alguna región

Longitud corridas: 40 años (luego de 10 años, estado estacionario)

Corrida Control: Sin forzante

Corrida Forzada:

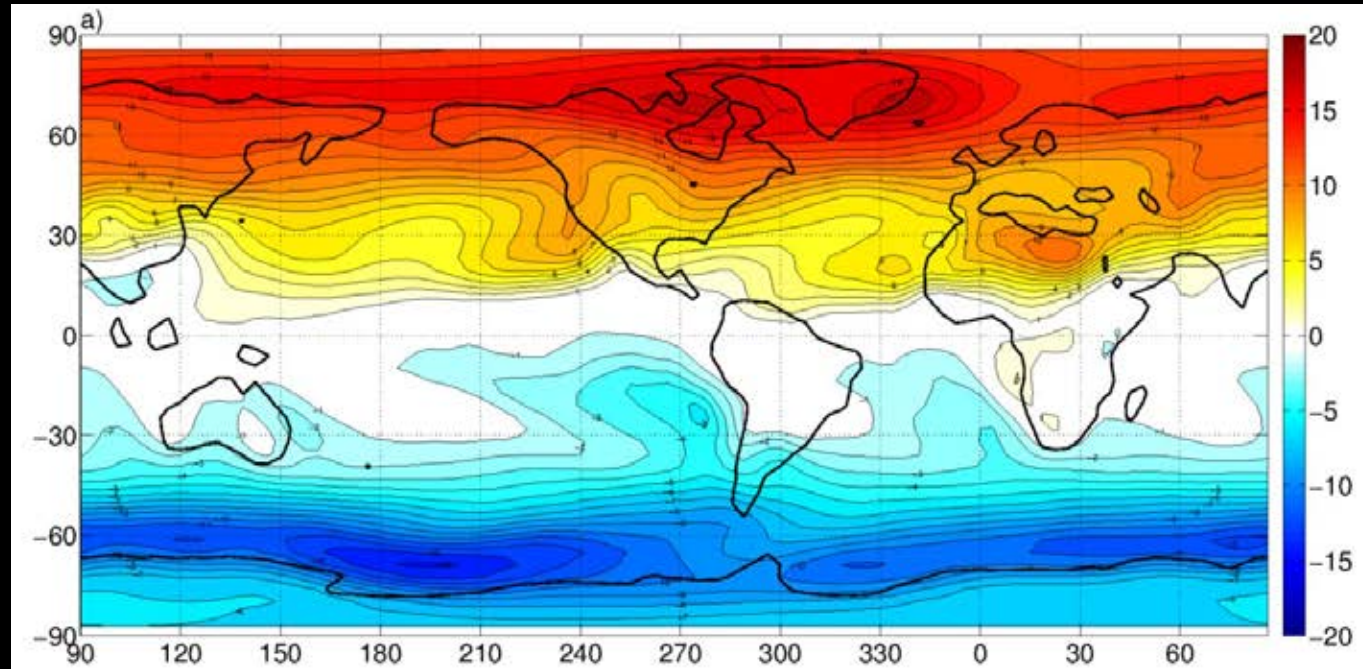
Aplicación de forzante térmico extratropical (calentamiento HN / enfriamiento HS)



Temperatura del aire cerca de superficie

Media anual

Anomalías respecto a Control



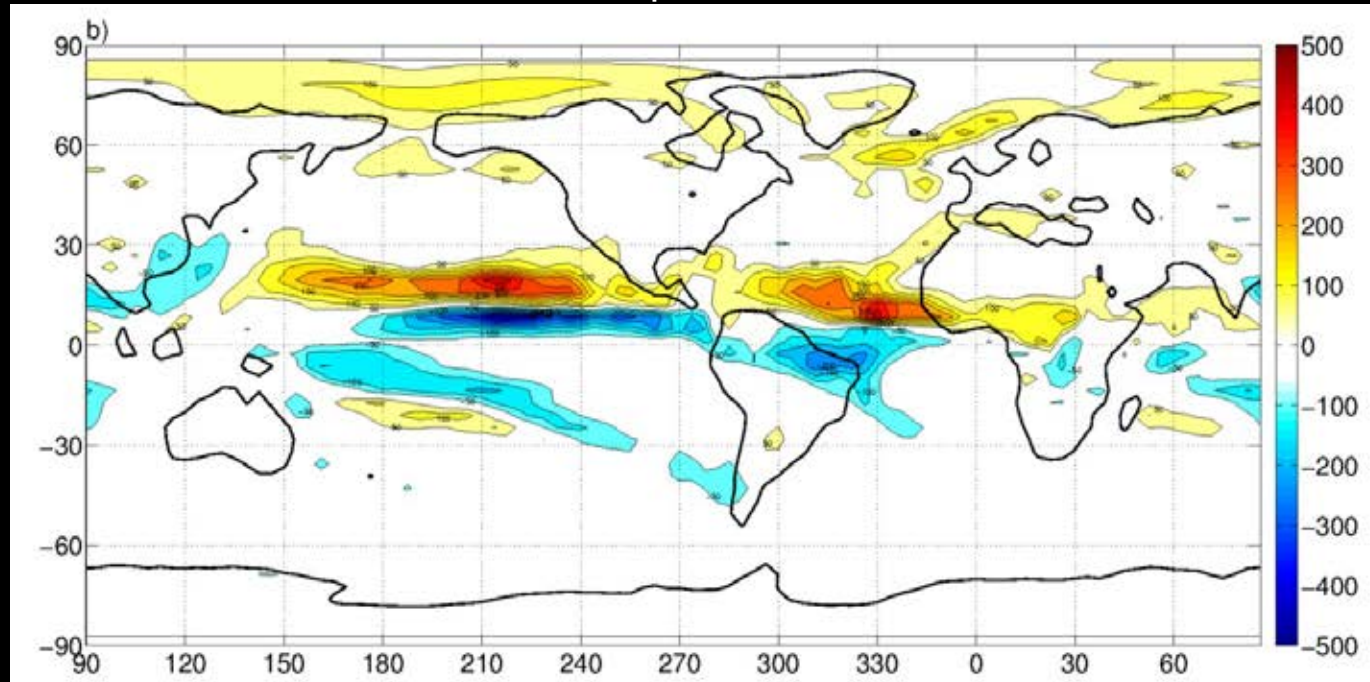
Intervalo: 1°C

- Calentamiento generalizado en HN / Enfriamiento en HS
- Extratrópicos: máxima respuesta 17°C en Atlántico Norte / -14°C Mar de Amundsen
- Trópicos: máxima respuesta sobre Desierto del Sahara: 10°C

Precipitación

Media anual

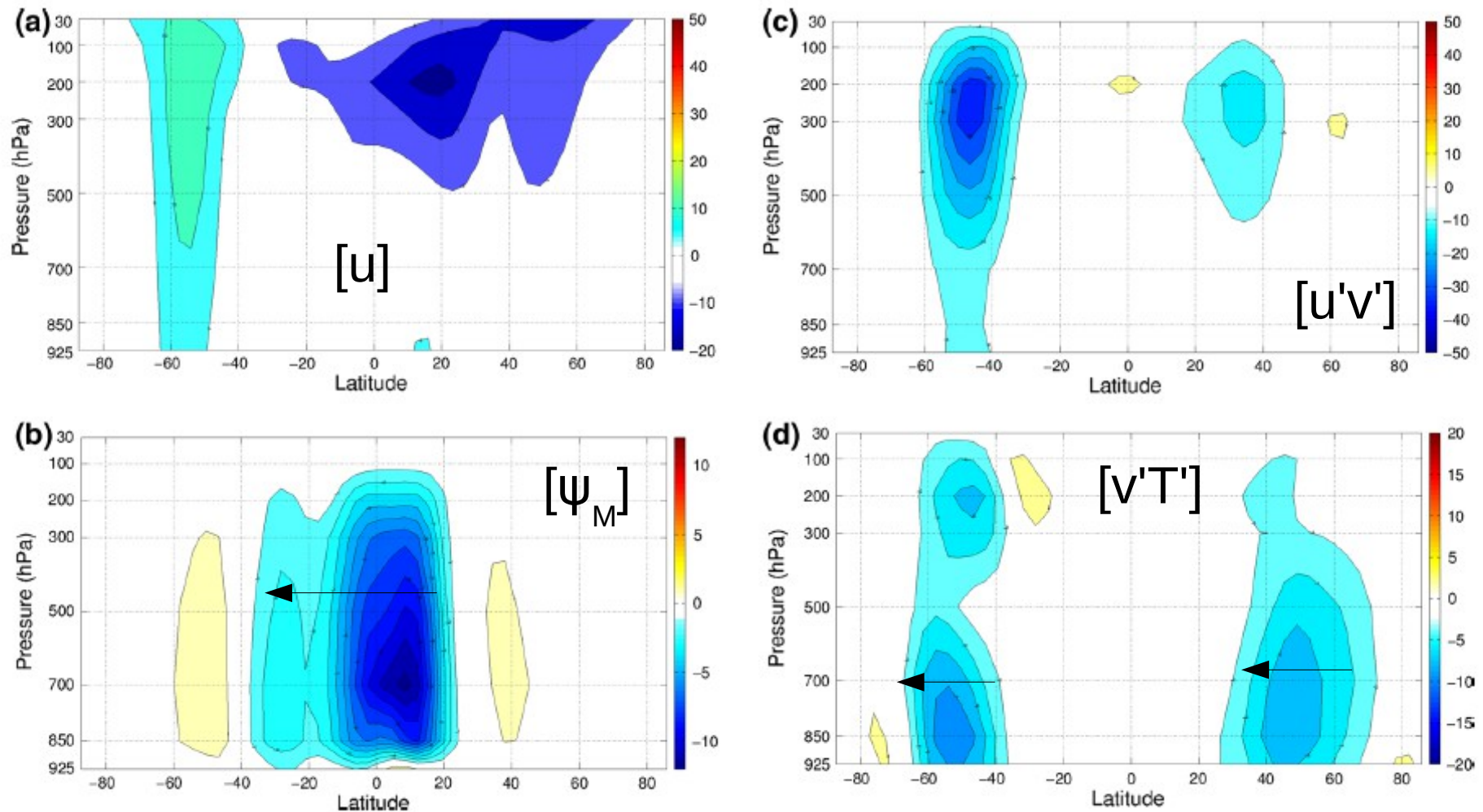
Anomalías respecto a Control



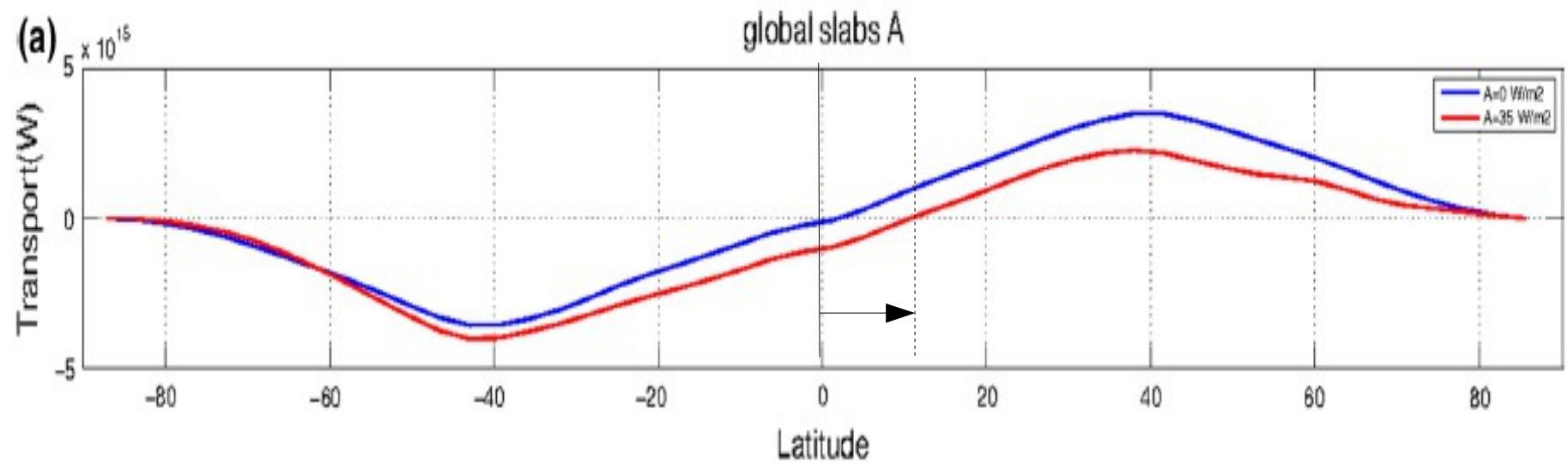
Intervalo: 50 mm/mes.

Corrimiento de la ITCZ hacia el Hemisferio más cálido
Consistente con trabajos previos

Cambios de medias anuales con respecto a Control



Cambios denotan un mayor transporte de calor hacia el HS como consecuencia del forzante, lo cual mueve el ecuador energético hacia el norte.



Corrimiento hacia el norte del ecuador energético

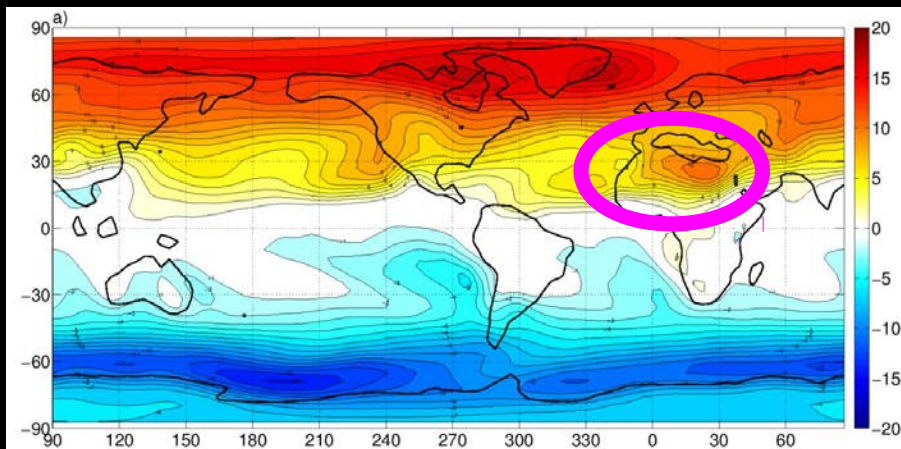
**¿Cuál es el rol de la TSM tropical en los
corrimientos de la ITCZ?**

Repetimos el experimento pero manteniendo la TSM
tropical (30°S-30°N) fija

Temperatura del aire cerca de superficie

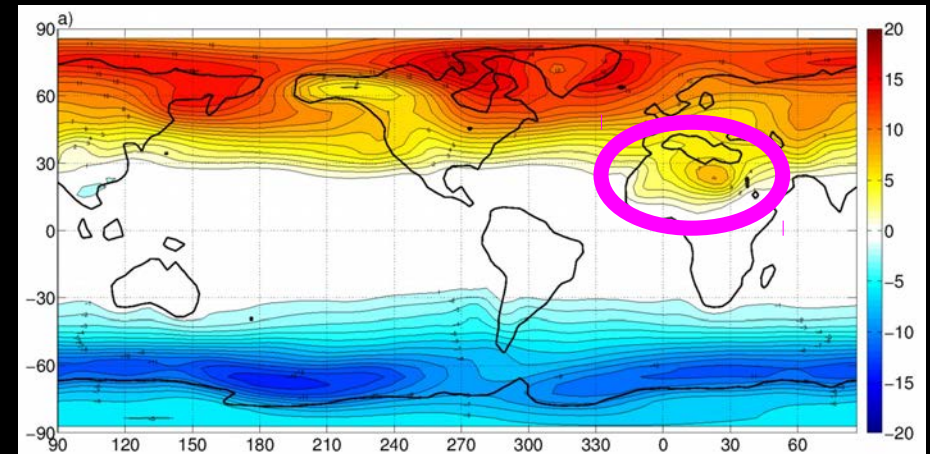
Media anual

SLABS Globales
Anomalías respecto a Control



Intervalo: 1°C.

TSM Tropical Fija
Anomalías respecto a Control



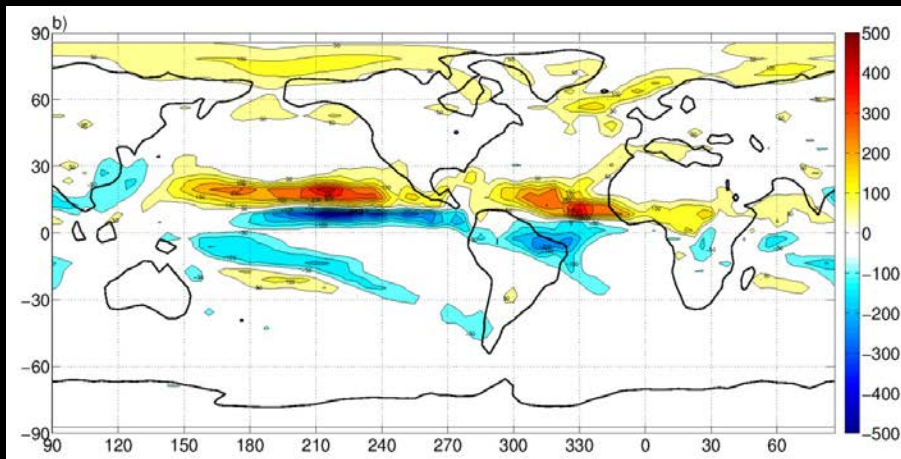
Intervalo: 1°C.

Trópicos:
Océano: No hay anomalías
Continente: Respuesta sobre África
persiste (7°C)

Precipitación

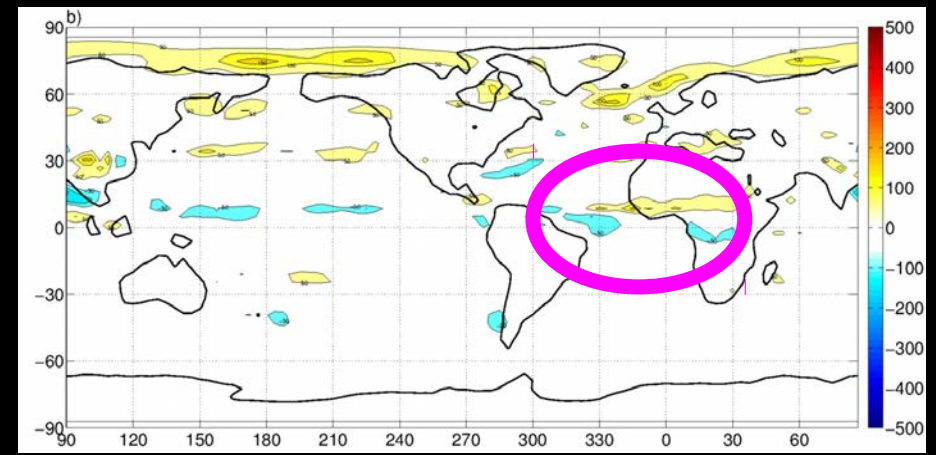
Media anual

SLABS Globales
Anomalías respecto a Control



Intervalo: 50 mm/mes.

TSM Tropical Fija
Anomalías respecto a Control



Intervalo: 50 mm/mes.

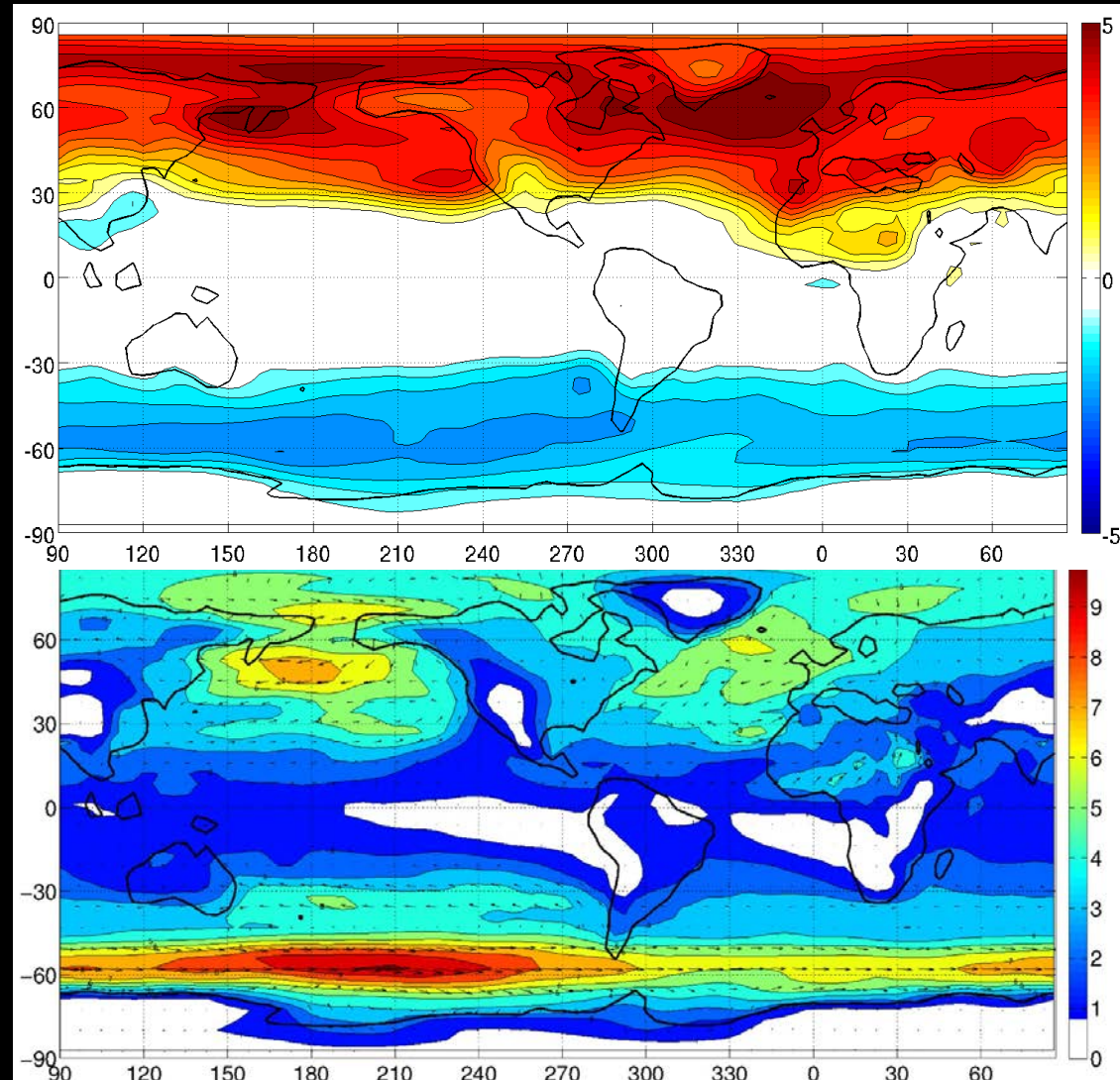
Respuesta ITCZ:
Se debilita notoriamente
África: 60% de magnitud
Atlántico: 20% de magnitud
(respecto al experimento previo)

Teleconexión: Latitudes altas – TSC África

Mecanismo:

- Imposición del forzante, calentamiento en latitudes altas del HN y aumento de humedad.
- Cambios de circulación advectan humedad hacia África.
- Aumento de la humedad específica sobre la región
- Aumenta el efecto de onda larga con cielo claro
- Calentamiento de África

Humedad específica (g/kg) y Viento en 950 hPa (m/s)
TSM Tropical Fija
Anomalías respecto a Control



¿Cuál es el rol de la TSC en los corrimientos de la ITCZ?

¿Es el corrimiento en la ITCZ del Atlántico y África aún posible sin cambios en la TSC de África?

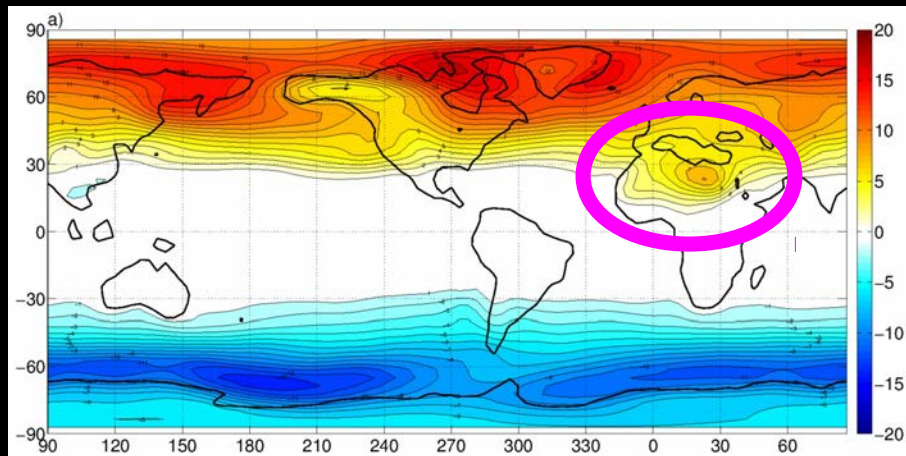
Repetimos el experimento ahora con:

TSM tropical (30°S-30°N) fija
+
TSC África fija

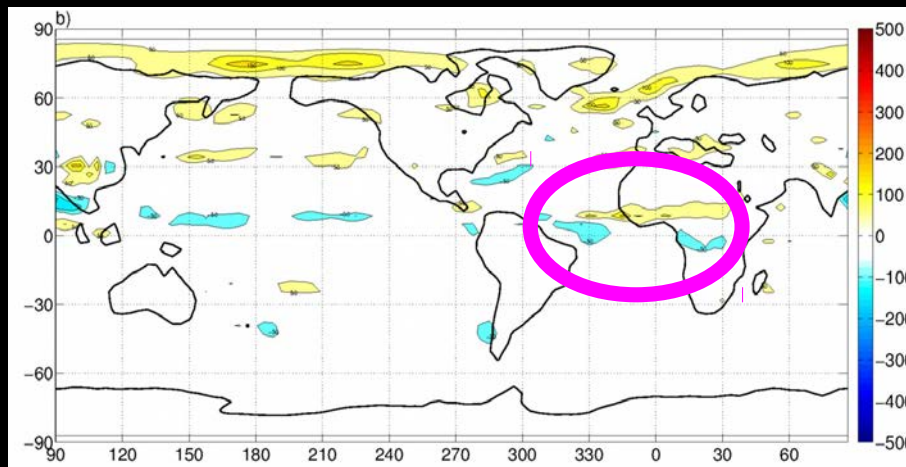
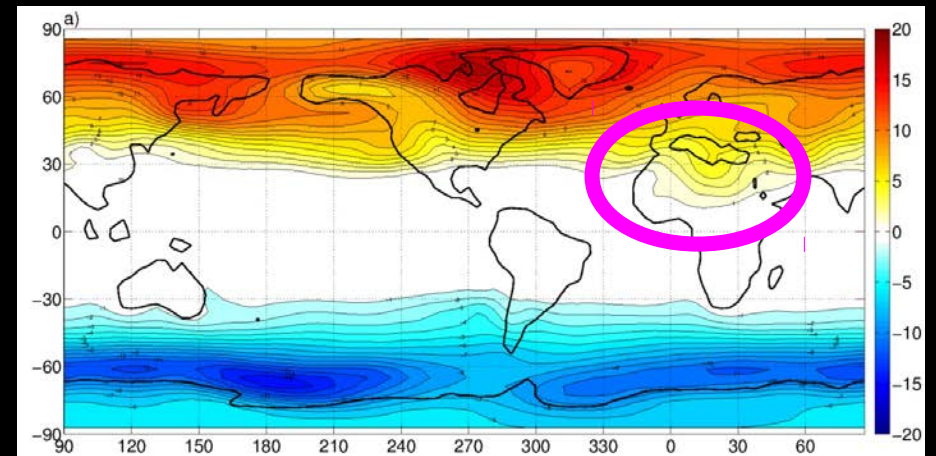
Temperatura del aire cerca de superficie & luvias

Media anual

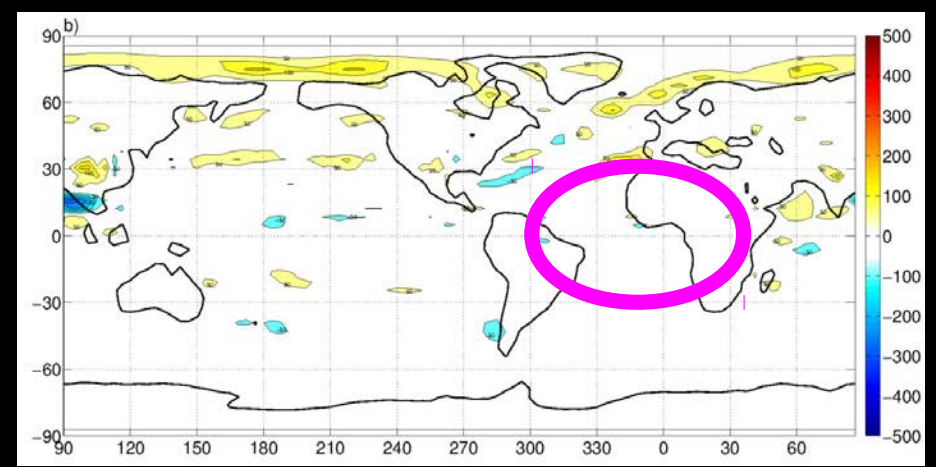
TSM Tropical Fija
Anomalías respecto a Control



TSM Tropical y TSC África Fijas
Anomalías respecto a Control



Intervalo: 50 mm/mes.



Intervalo: 50 mm/mes.

La ITCZ sobre África no cambia

Conclusiones

- La ITCZ tiende a desplazarse hacia el Hemisferio más cálido
 - Rol de TSM Tropical:
 - Si TSM Tropical fija:
 - La respuesta de la ITCZ se debilita
 - Sobre África/Atlántico: respuesta del 60%/20% de la magnitud previa
 - Rol de TSC África:
 - Si TSM Tropical fija y TSC sobre África fija:
 - La respuesta de la ITCZ se desvanece
 - África cálida → disminuye presión en superficie → corrimiento ITCZ hacia el N (ver Haarsma et al 2005).
- La respuesta de la ITCZ al forzante extratropical NO es posible a través de procesos puramente atmosféricos.

Resultados: 2

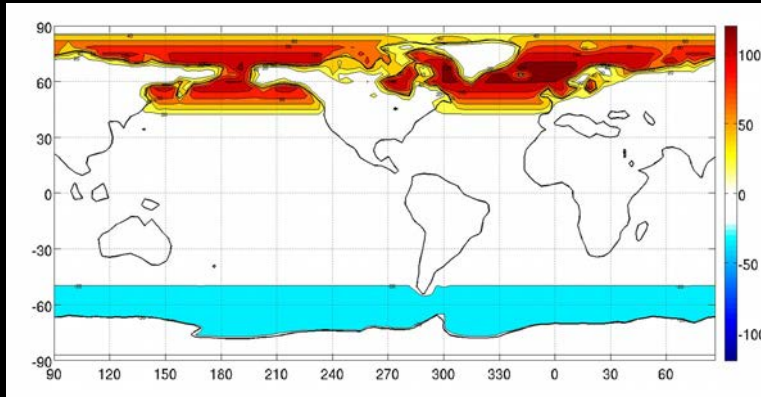
Control de la SACZ por Forzante Térmico Extratropical

Control de la SACZ por forzante térmico extratropical

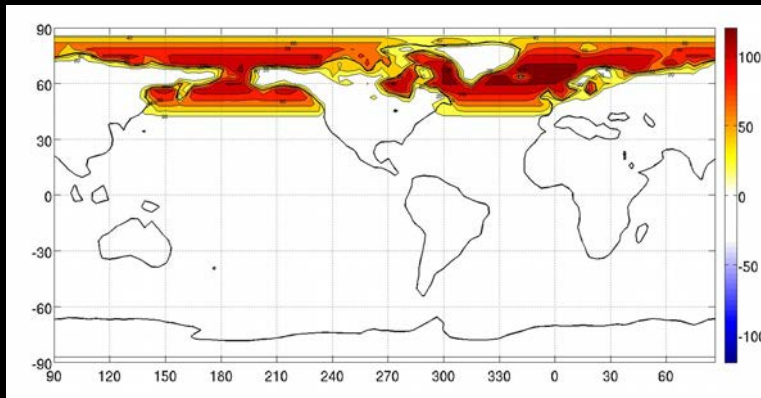
Obejtivo:

- Investigar la respuesta de la **SACZ** a un forzante térmico extratropical
- Identificar la importancia relativa de las componentes hemisféricas del forzante
- Foco:
Temporada pico para la SACZ: Diciembre-Febrero (DJF)

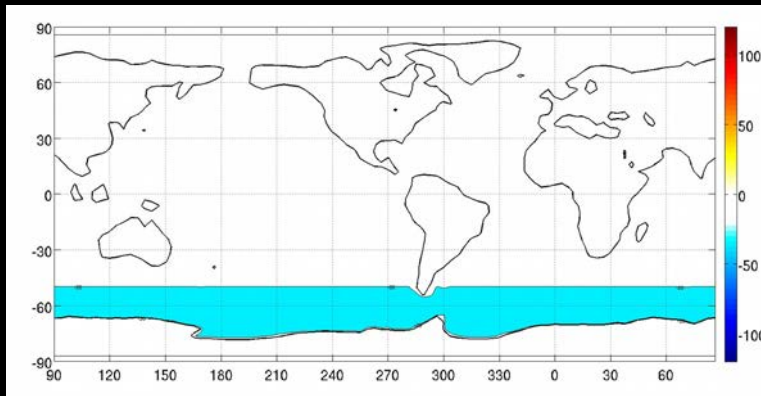
Forzantes extratropicales



HN + HS



HN



HS

Patrón forzantes: Flujo de calor fuera del mar (W/m^2)

Temperatura del aire cerca de superficie

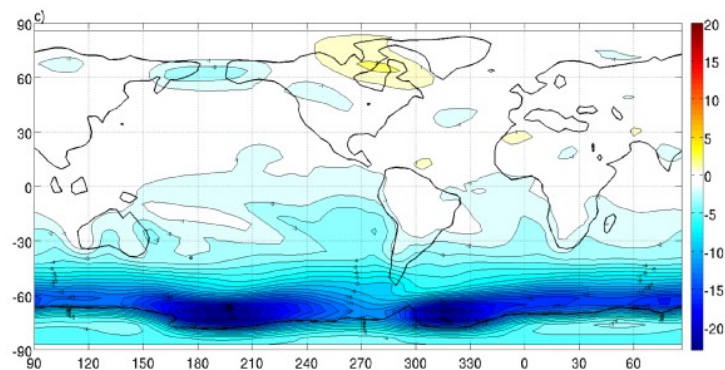
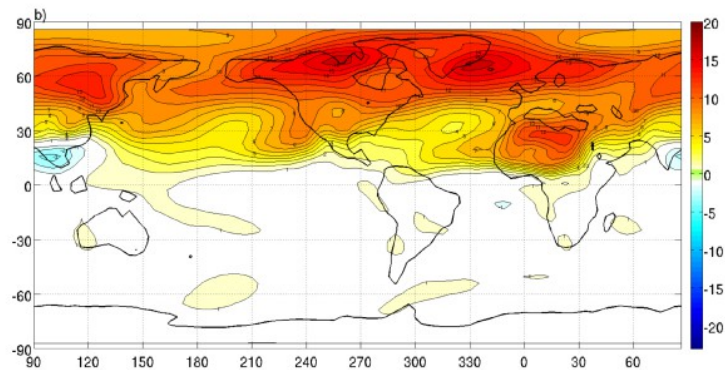
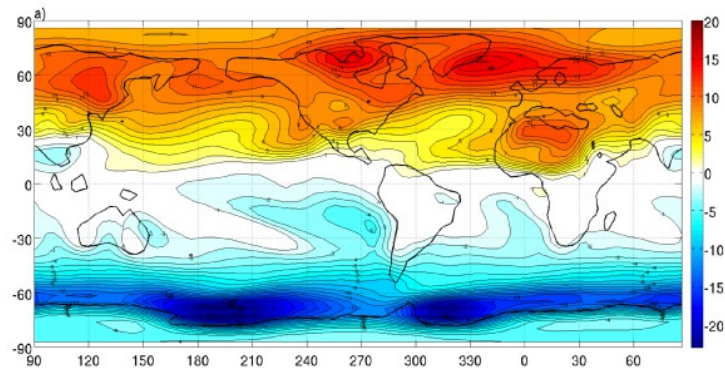
DJF

Forzante HN+HS

Forzante HN

Forzante HS

Anomalías respecto a Control



Intervalo: 1°C

Calentamiento generalizado en HN /
enfriamiento en HS

Respuesta cuasi-lineal a las
componentes hemisféricas del
Forzante

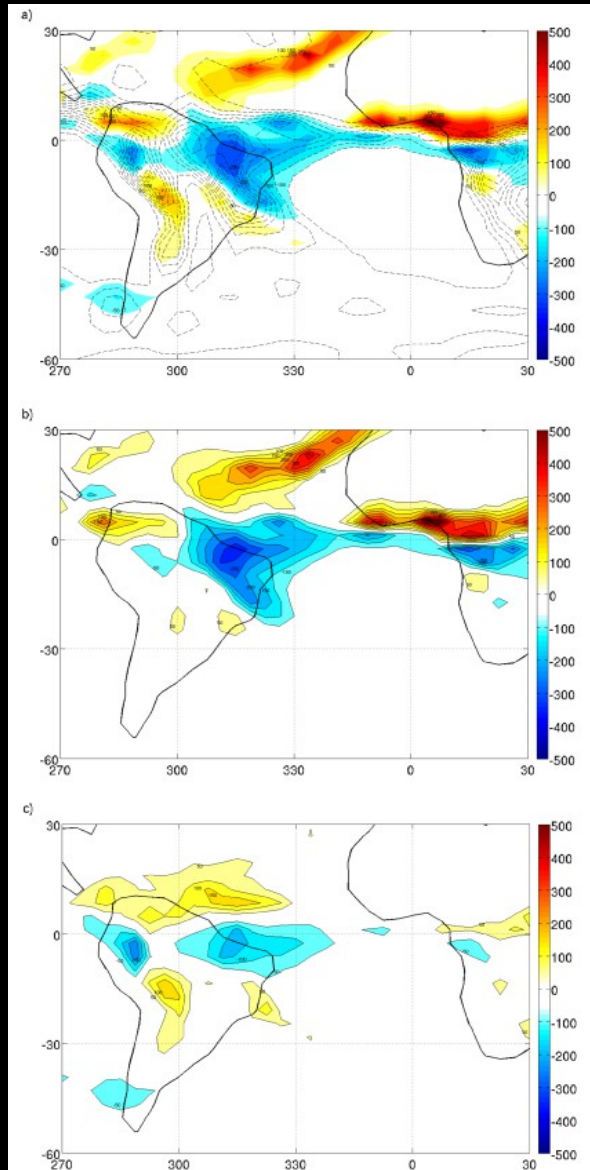
Precipitación DJF

Forzante HN+HS

Forzante HN

Forzante HS

Anomalías respecto a Control



Intervalo: 50 mm/mes.

- **SACZ:** Debilitamiento y leve corrimiento hacia el HS
El comportamiento no es simplemente desplazarse hacia el Hemisferio más cálido!
Controlada por el Forzante en HN

- **North Atlantic Convergence Zone (NACZ):**
Se produce una nueva zona de Convergencia
Controlada por el Forzante en HN

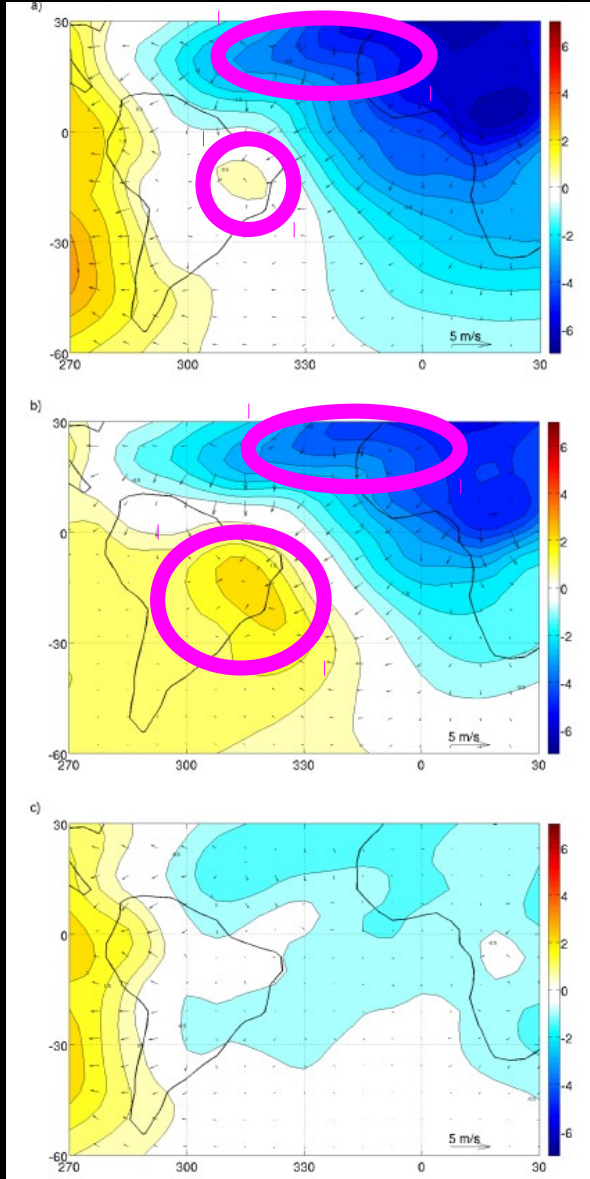
Potencial de Velocidad y Viento Divergente en 200 hPa DJF

Forzante HN+HS

Forzante HN

Forzante HS

Anomalías respecto a Control



Intervalo: 50 mm/mes.

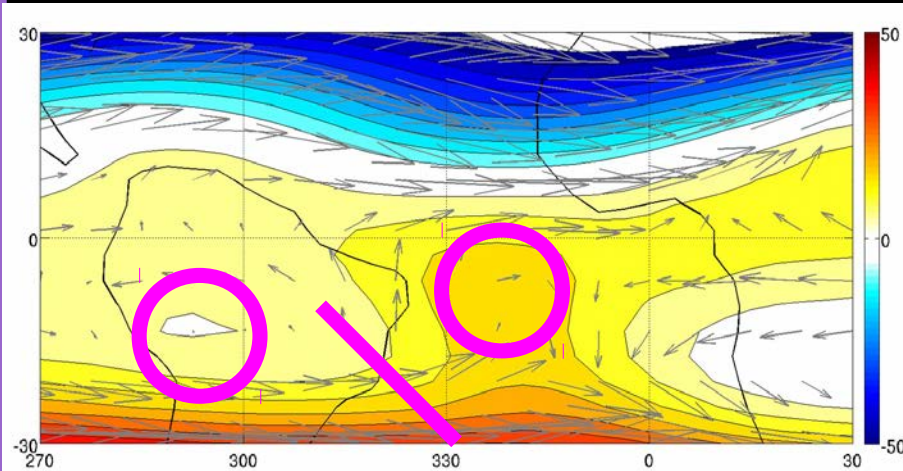
- Zona de divergencia sobre el Atlántico Norte
- Zona de convergencia sobre SACZ

Incluso más marcadas cuando el forzante es sólo del HN

- El forzante genera un calentamiento de las latitudes altas en el HN
- Cambios en la circulación de Hadley, se favorece descenso sobre la SACZ → menor precipitación en SACZ

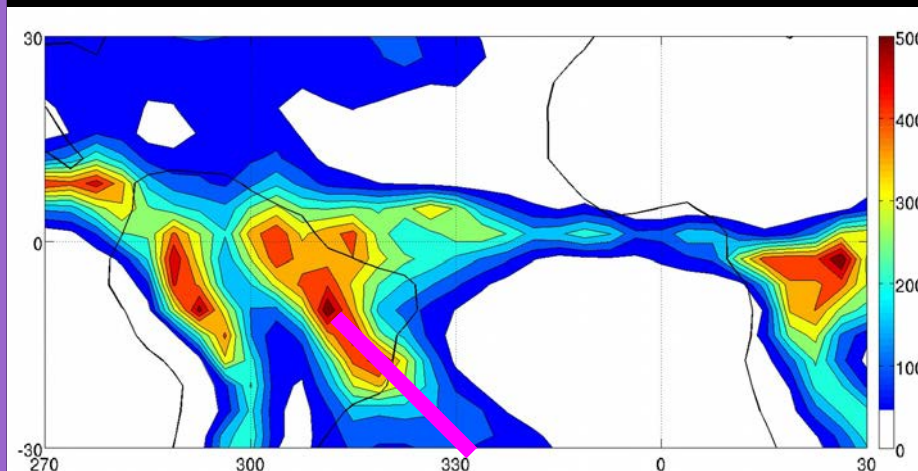
Análisis de circulación en altura: SACZ y NACZ

Función corriente y viento en 200hPa Total
Corrida Control



Intervalo: 5 m2/s.

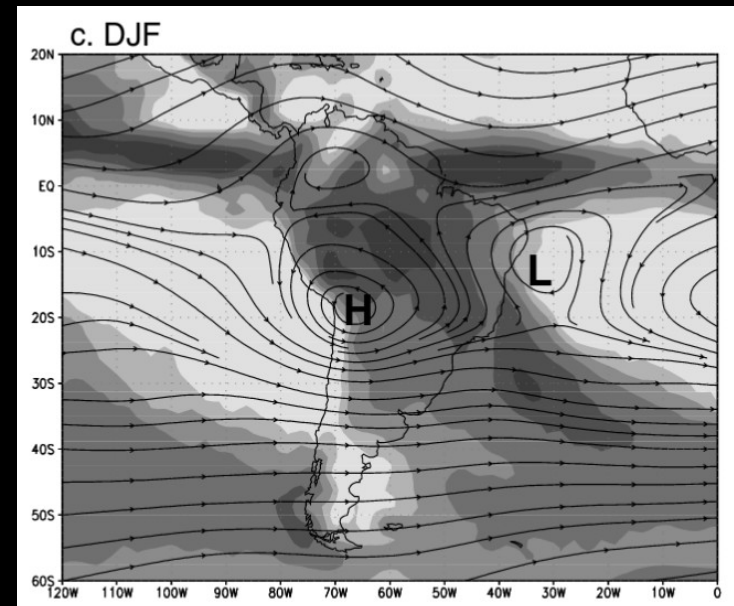
Precipitación Total
Corrida Control



Intervalo: 50 mm/mes.

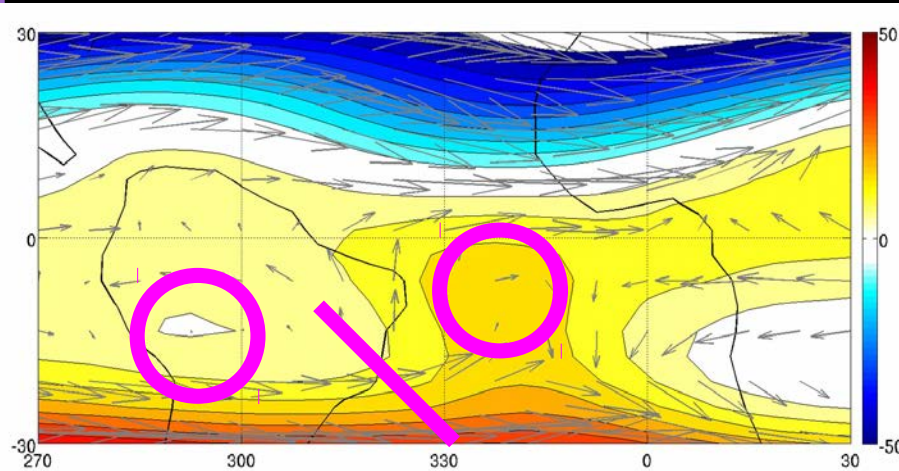
La SACZ se ubica entre la Alta Boliviana y circulación ciclónica al Noreste de Brasil, asociada a una pequeña vaguada.

Garreaud y Aceituno (2007)



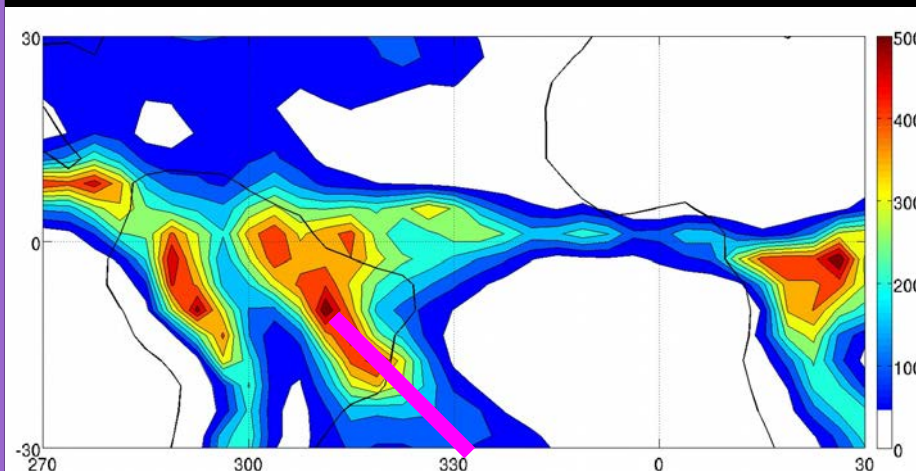
Análisis de circulación en altura: SACZ y NACZ

Función corriente y viento en 200hPa Total
Corrida Control



Intervalo: 5 m2/s.

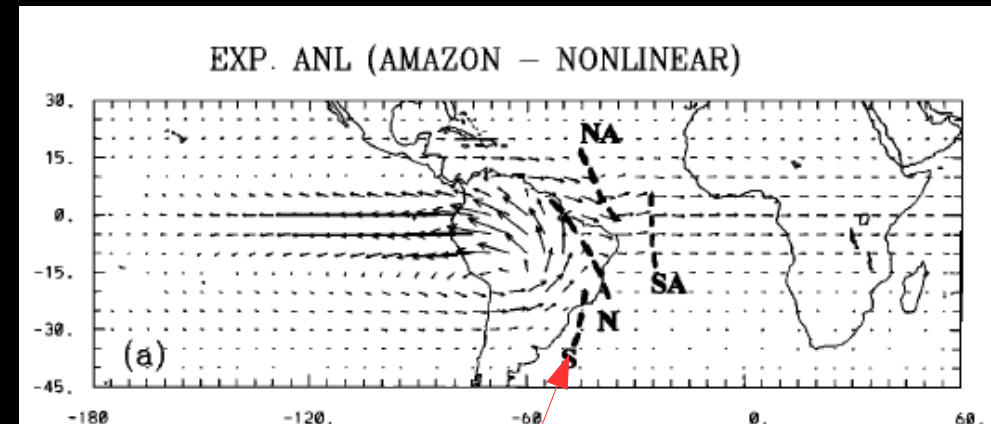
Precipitación Total
Corrida Control



Intervalo: 50 mm/mes.

La SACZ se ubica entre la Alta Boliviana y circulación ciclónica al Noreste de Brasil, asociada a una pequeña vaguada.

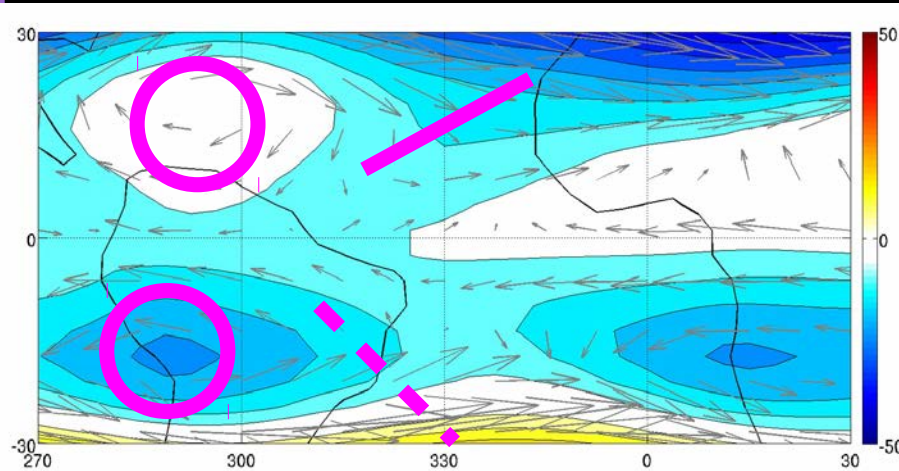
Garreaud y Aceituno (2007)



Posición de la SACZ en respuesta al calentamiento debido a convección en Amazonas (Gandu y Silva Dias 1998)

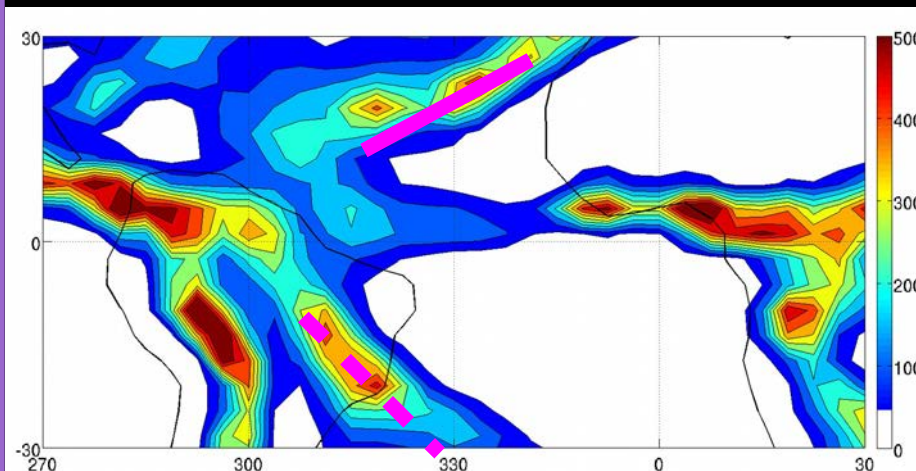
Análisis de circulación en altura: SACZ y NACZ

Función corriente y viento en 200hPa Total
Corrida HN+HS



Intervalo: 5 m2/s.

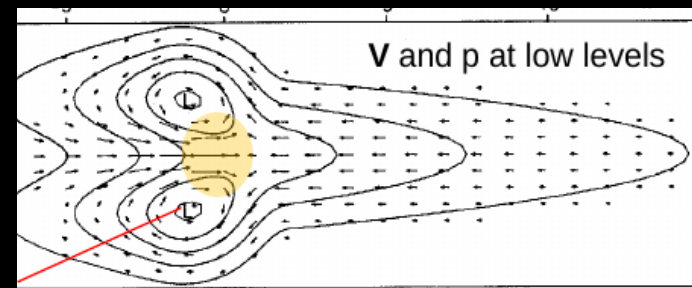
Precipitación Total
Corrida HN+HS



Intervalo: 50 mm/mes.

Se generan 2 circulaciones anti-ciclónicas simétricas respecto al Ecuador, ambas con vaguadas aguas abajo.

La fuente de calor pasa a ser más simétrica respecto al Ecuador



Respuesta tipo Gill a calentamiento ecuatorial:
Circulaciones anticiclónicas en altura al SW y NW de la fuente de calor

→ Se favorece el posicionamiento de zonas de convergencia en superficie

La vaguada en HS es más débil que en Control

→ **Se generan NACZ y SACZ (más débil)**

Teleconexión: Latitudes altas HN – SACZ

Mecanismos Físicos Propuestos:

Control de altura (NACZ y SACZ)

- Corrimiento de fuente de calor hacia el HN (asociado a corrimiento de zona de mayor precipitación, asociado a su vez a TSM)
- Se debilitan circulación anticiclónica (Alta Boliviana) y vaguada en HS
- Se debilita SACZ
- Se generan condiciones en altura que favorecen formación de NACZ

Además, Control de superficie sobre NACZ:

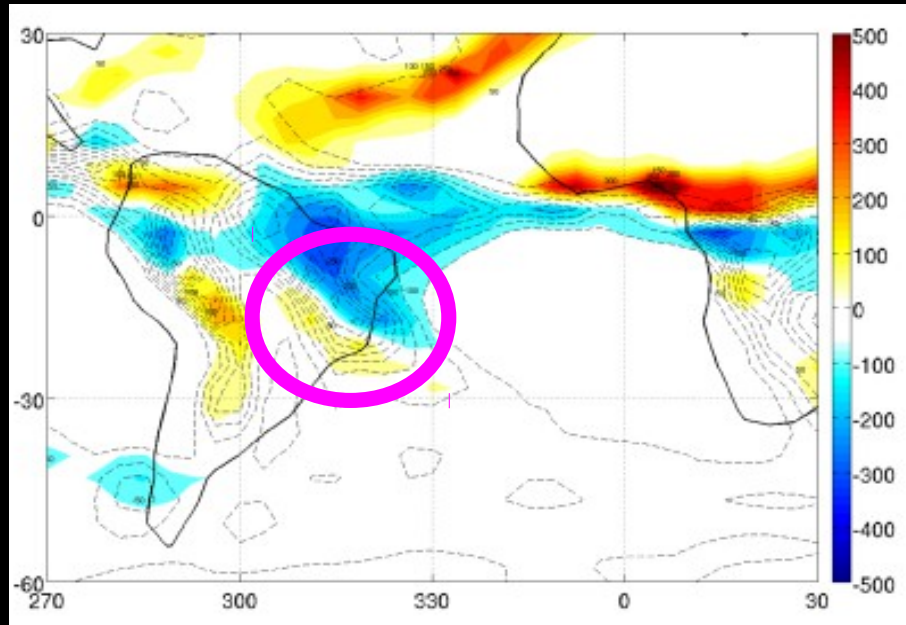
- Se generan anomalías positivas de TSM al norte del Ecuador, convergencia de vientos en superficie, favoreciendo la NACZ

NACZ → SACZ

- Región de ascenso asociada
- Cambios en la circulación de Hadley, se favorece descenso sobre la SACZ → menor precipitación en SACZ

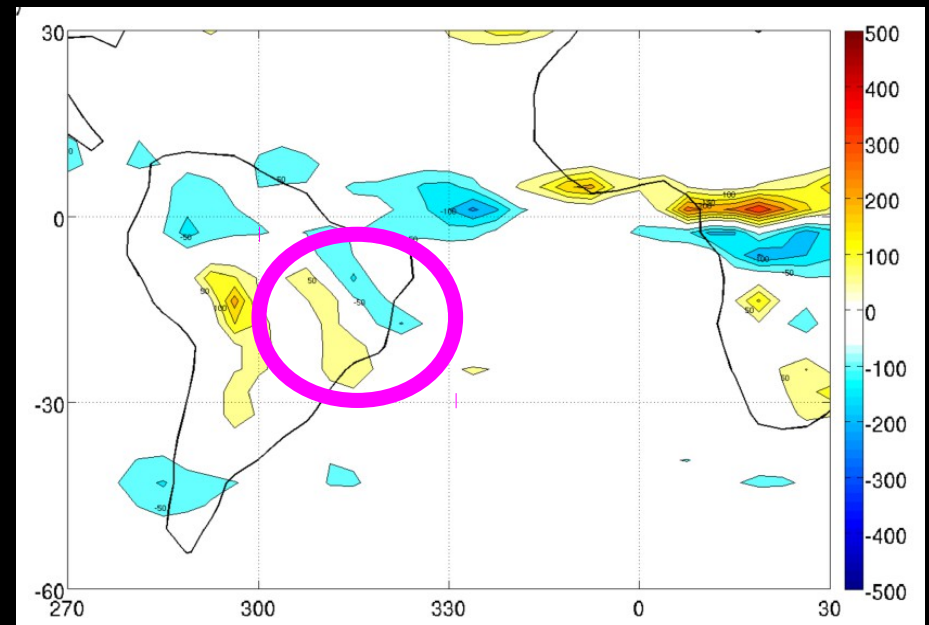
Precipitación en Experimento con TSM tropical fija DJF

SLABS Globales
Anomalías respecto a Control



Intervalo: 50 mm/mes.

TSM Tropical Fija
Anomalías respecto a Control



Interval: 50 mm/month.

NACZ: No está presente
SACZ: señal se reduce un 75%

Conclusiones

- En DJF, la SACZ responde al forzante extratropical
- La SACZ se debilita ante calentamiento/enfriamiento en HN/HS. Este comportamiento NO es el mismo que el de la ITCZ.
- La componente del forzante en el HN es la dominante.
- Teleconexión extratropicos HN → SACZ:
 - **Generación de la NACZ y configuración atmosférica en niveles altos asociada a cambios en la fuente de calor:** explica el 75% de la señal en la SACZ
- Consistente con
 - Junquas et al (2012) encuentra que la SACZ se debilita en escenario de CC (HN se calienta + que HS).