

# **Investigación del Clima del Verano en Norteamérica: Estudio con un Modelo Atmosférico Regional**

**Christopher L. Castro  
Departamento de Ciencias Atmosféricas  
University of Arizona  
Tucson, Arizona**

**Seminario  
Universidad de Sonora  
Hermosillo, Sonora, México  
9 de noviembre de 2007**

***Los Mochis, Sinaloa, México. Verano de 2004 durante NAME.  
Foto por Peter Rogers***

# **Tópicos de la presentación**

**Información sobre mí y nuestro departamento en la Universidad de Arizona**

**Motivación para la investigación del clima de verano en Norteamérica, específicamente el monzón**

**Como se puede usar un modelo atmosférico regional para investigarlo**

**Resultados de un estudio de cincuenta años:**

**La climatología del modelo**

**La variabilidad interanual (y posiblemente el cambio climático)**

**Conclusiones**

# ¿Quién soy yo?



**Estudí en la Universidad Estatal de Colorado (Colorado State) en el departamento de Ciencia Atmosférica y en la Universidad Estatal de Pennsylvania (Penn State) en el departamento de Meteorología. Me gradué del programa del doctorado de Colorado State en el 2005.**

**Viví en Davis, California, antes de asistir a la universidad y aprendí español en el colegio (a pesar del apellido)**

**Llegué a ser miembro de la facultad en la Universidad en de Arizona en el departamento de las Ciencias Atmosféricas en el 2006.**

**Mis áreas de investigación incluyen: la variabilidad y el cambio del clima, la interacción entre la tierra y la atmósfera, los modelos atmosféricos regionales, y el monzón norteamericano.**

# Información de la Universidad de Arizona y nuestro departamento



**Somos una de las dos universidades estatales en Arizona, con más de treinta mil estudiantes. El departamento de Ciencias Atmosféricas se estableció hace más de cincuenta años. Actualmente tenemos nueve profesores académicos y veinte estudiantes.**

**Uno de los objetivos estratégicos de la universidad es consolidar nuestras relaciones con México en las áreas de investigación y educación. Es necesario para el beneficio de nuestros dos países.**

**Por ejemplo, tenemos programas con CONACYT para apoyar la educación de estudiantes mexicanos en las ciencias. Uno de mis objetivos como miembro de la facultad es conseguir estudiantes de origen hispano para trabajar en proyectos que se relacionen con nuestra región.**

**Mi opinión sobre el estudio la ciencia atmosférica y porque lo hago...**

**Creo que la ciencia atmosférica (y las ciencias relacionadas) van a ser muy importantes en el futuro debido al crecimiento de la población y el cambio climático.**

**¡Las proyecciones de las Naciones Unidas (IPCC) sugieren que nuestra parte del continente será el más afectado!**

# ¿Tienen razón las proyecciones catastróficas?

Scienceexpress

Report

## Model Projections of an Imminent Transition to a More Arid Climate in Southwestern North America

Richard Seager,<sup>1</sup> Mingfang Ting,<sup>1</sup> Isaac Held,<sup>2,3</sup> Yochanan Kushnir,<sup>1</sup> Jian Lu,<sup>4</sup> Gabriel Vecchi,<sup>2</sup> Huei-Ping Huang,<sup>1</sup> Nili Harnik,<sup>5</sup> Ants Leetmaa,<sup>2</sup> Ngar-Cheung Lau,<sup>2,3</sup> Cuihua Li,<sup>1</sup> Jennifer Velez,<sup>1</sup> Naomi Naik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY, USA. <sup>2</sup>NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, NJ, USA. <sup>3</sup>Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Department of Geosciences, Princeton University, Princeton, NJ, USA. <sup>4</sup>National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA. <sup>5</sup>Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel.

El título se traduce: ***Las proyecciones de modelo de una transición inminente a clima más árido en el Suroeste de Norteamérica***

**¿Cuál es la motivación para estudiar el clima de verano en nuestra parte del mundo, específicamente el monzón?**

**El monzón es importante para Arizona y los otros estados del suroeste de los EE.UU., pero es más importante para Sonora y los estados adyacentes en México.**

***¿Por qué?***

# La importancia del monzón: Disponibilidad del agua

**Arizona:** depende del deshielo de la nieve de las montañas para la mayoría de los recursos hídricos. La mayoría de esta agua viene del Río Colorado por el acueducto llamado “Proyecto Central de Arizona”



**Nieve en las montañas de la cuenca del Río Colorado durante el invierno**



**Flujo de agua en el Río Colorado**



**Proyecto Central de Arizona  
(*Central Arizona Project*)**



# La importancia del monzón: Disponibilidad del agua

**Sonora: depende de las lluvias del verano para sus recursos hídricos y el flujo máximo de agua en los ríos ocurre al mismo tiempo. Más del sesenta por ciento del agua en la región viene durante el verano.**



**Tormentas durante el monzón**



**El flujo de agua en los ríos**

# La importancia del monzón: La distribución de la población y el modo de vivir

**Arizona**: El ochenta por ciento de los cinco millones de habitantes viven en dos ciudades (Tucson y Phoenix) y ellos no dependen de la tierra directamente para sobrevivir.



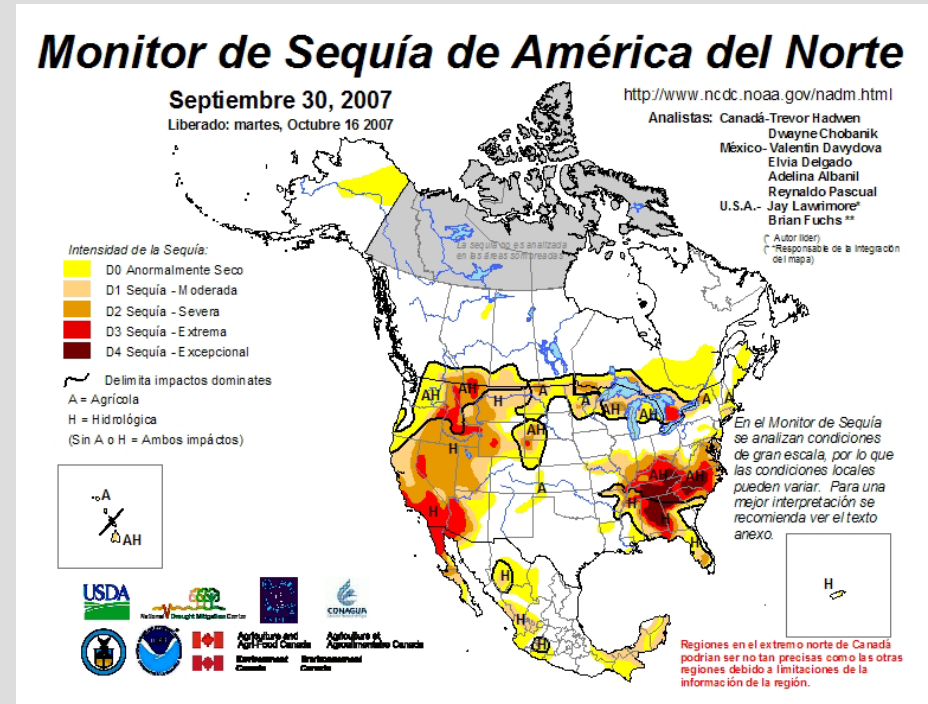
**Sonora**: Una parte importante de la economía depende de las actividades agrícolas y estas a su vez dependen de las lluvias durante el monzón.



# Hay que considerar las condiciones socioeconómicas en Sonora también

Recursos: ¿Hay suficientes recursos para enfrentar los extremos climáticos como la sequía en los sectores diferentes de la economía local? Por ejemplo, para la agricultura o agua potable.

Falta de información: En general, la población no está familiarizada con los productos meteorológicos y climáticos públicos y que se encuentran en el internet. Y por lo tanto no puede interpretarlos.



*¿Podrían interpretar ese mapa un agricultor o administrador de aguas para sus propias necesidades?*

*¿Y qué hace con la información?*

# ¿Cómo se puede investigar el monzón de Norteamérica?

Hay tres modos de investigación:

- Los datos de observaciones
- Los datos de modelos atmosféricos globales y reanálisis globales
- Los modelos regionales

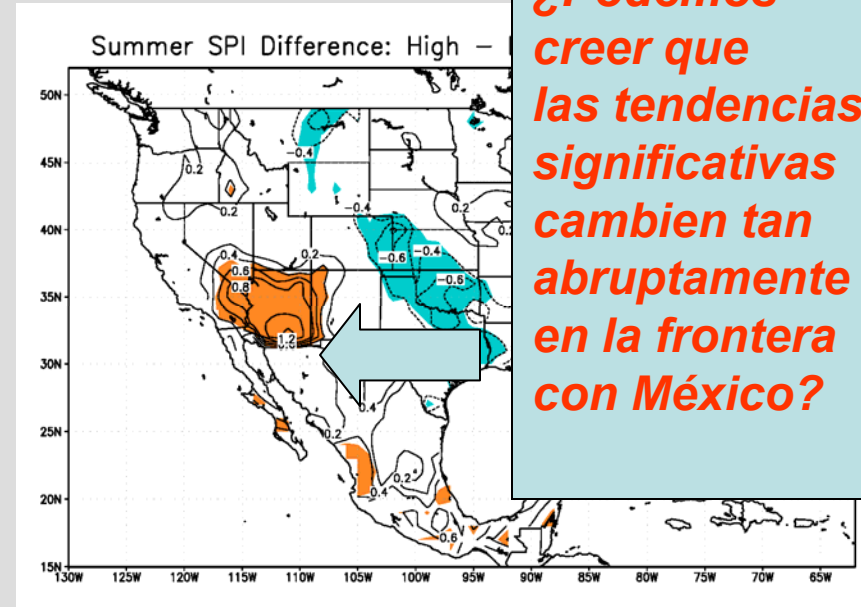
¿Cuáles son las **ventajas** y **desventajas** de cada uno?

# Las observaciones

Necesitamos observaciones para establecer la verdad, por supuesto.

Tenemos observaciones detalladas de la tierra y la atmósfera durante algunos años, como el verano de NAME en el 2004.

Los productos de las observaciones tienen errores y lagunas, y es un gran problema en México. Por ejemplo, nos faltan observaciones pluviométricas en la Sierra Madre Occidental.



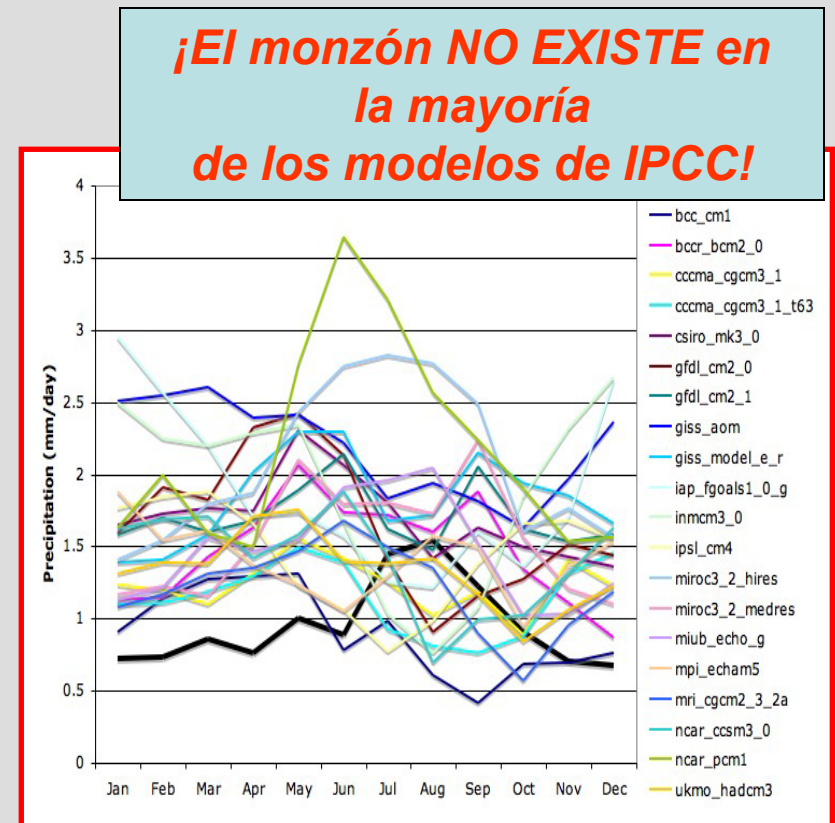
Las diferencias en la precipitación asociadas con los monzones secos y húmedos en Tucson. Los datos son de observaciones pluviométricas durante cincuenta años.

# Los modelos y reanálisis globales

Se dispone de modelos atmosféricos globales y de reanálisis globales para un periodo de más de cincuenta años. Estos incluyen variabilidad climática de gran escala.

Los datos incluyen los modelos de IPCC (y las proyecciones que mencioné antes).

Sin embargo, debido a la baja resolución y las parameterizaciones no pueden representar detalles importantes como el ciclo diurno de la convección, los vientos de niveles bajos que transportan humedad hacia el interior del continente, y el máximo estacional de lluvia del monzón norteamericano.



La precipitación de los modelos de IPCC en el suroeste de los EE.UU. durante el periodo de 1970 a 2000.

# Los modelos y reanálisis regionales

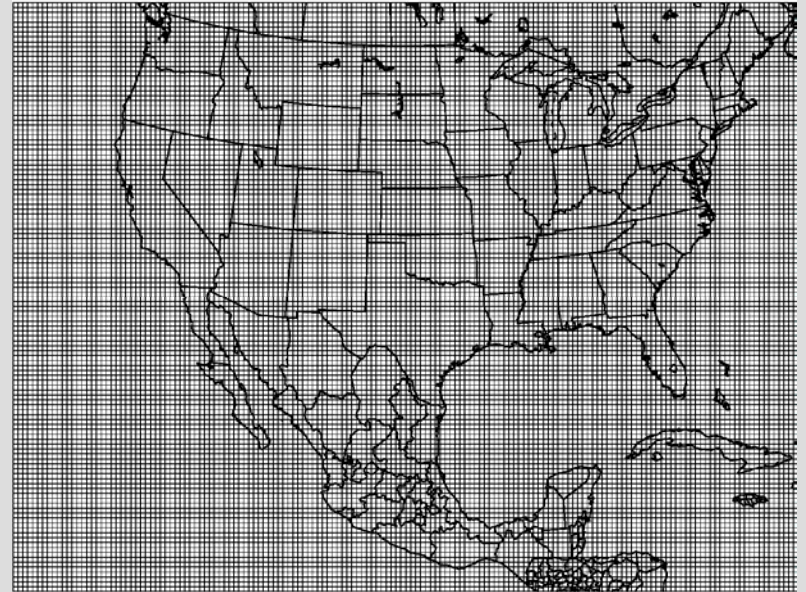
Se pueden representar los detalles importantes del monzón (a mesoescala) que no existen en los modelos globales de baja resolución.

¿Tal vez se puede representar el clima mejor?

Todavía utilizan un modelo o reanálisis global como condición límite lateral y no se pueden corregir los errores de gran escala.

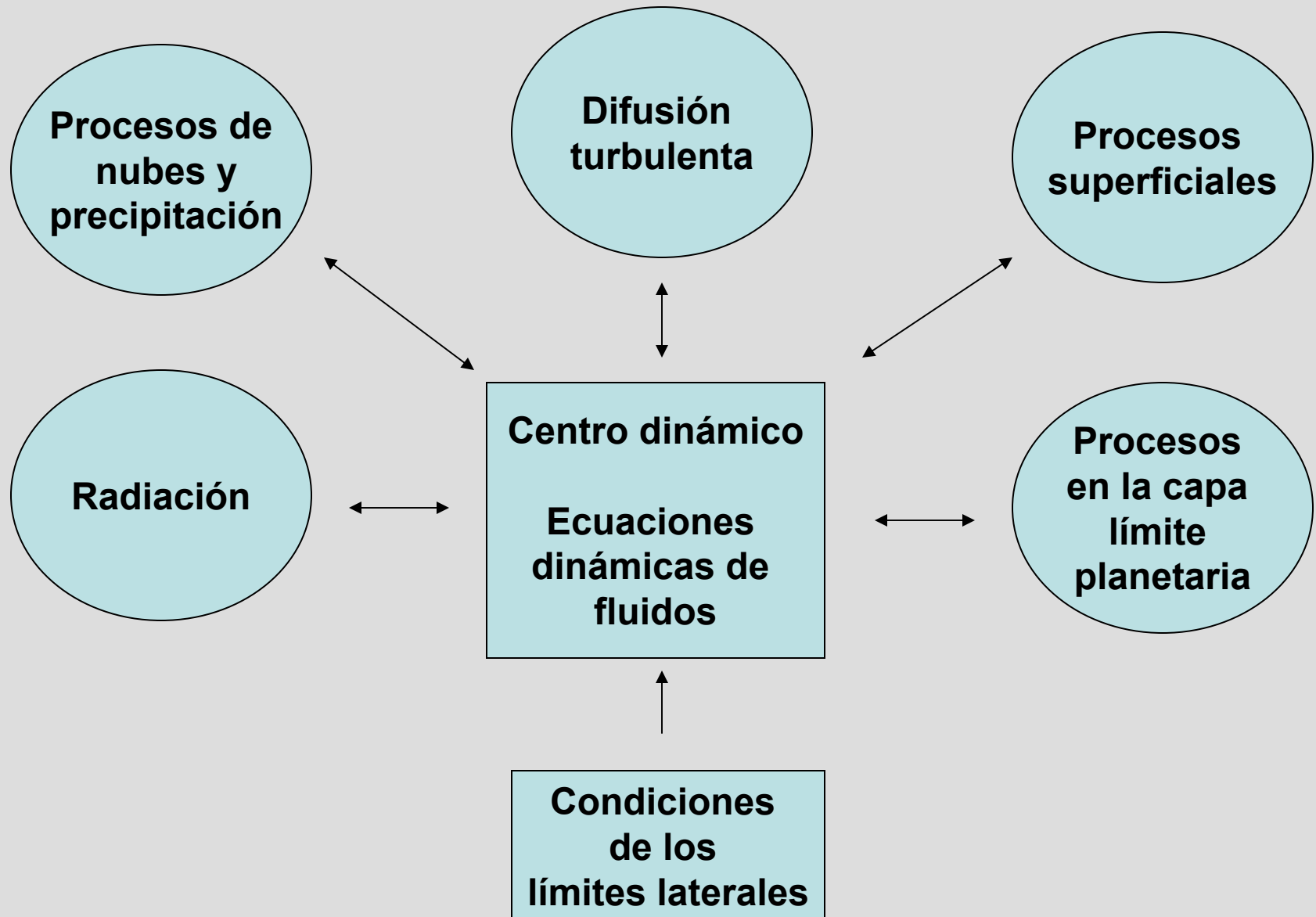
Estos modelos también tienen sus propias parameterizaciones y no son perfectas.

Necesitamos observaciones de buena calidad para validarlos y algunas veces no existen, especialmente en México.



La malla que usé para las simulaciones con el modelo atmosférico regional RAMS.

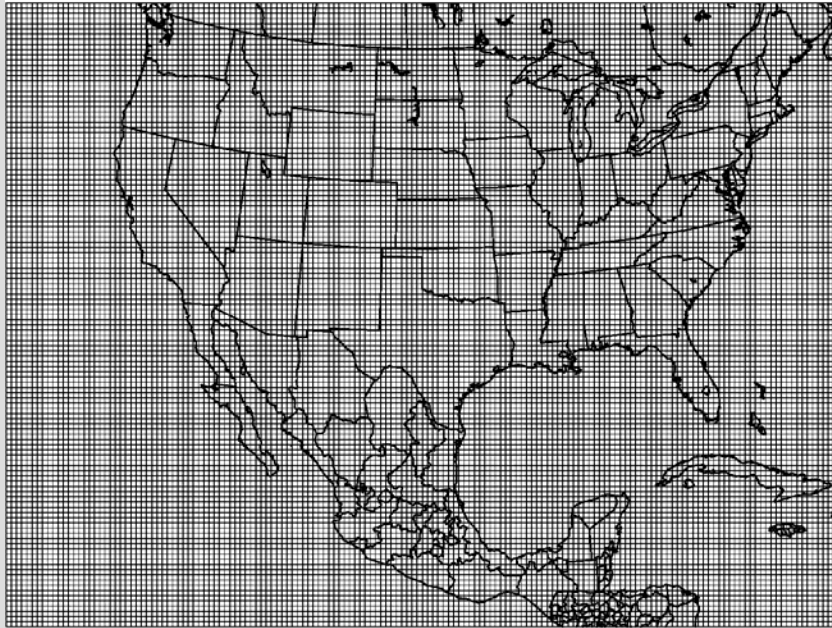
# Componentes del modelo atmosférico regional





# Estudio del clima del verano usado el modelo “RAMS”

(En inglés RAMS = Regional Atmospheric Modeling System)



Espaciamiento de la malla es 35 km

Simulaciones comienzan el  
15 de mayo y terminan el 31 de  
agosto de cada año.

Se usa el reanálisis global de NCEP-  
NCAR como condición limite lateral.

Los años simulados incluyen del  
1950 al 2002, así podemos investigar  
los efectos de la variabilidad  
interanual en una escala regional.

Se describen más detalles en dos  
artículos en el *Journal of Climate* que  
se publicaron en Agosto de este año.

# Resultados de las simulaciones

Hicimos dos preguntas:

1. ¿Es razonable la climatología del modelo?
2. ¿Cuáles son los efectos de la variabilidad interanual y (posiblemente) el cambio climático?

# Precipitación simulada del modelo

**Veamos:**

- 1. El promedio del verano**
- 2. La diferencia entre el pico del monzón (el 15 de julio al 15 agosto) y el periodo antes del monzón (el 15 mayo al 15 junio)**

# Precipitación simulada del modelo y las observaciones

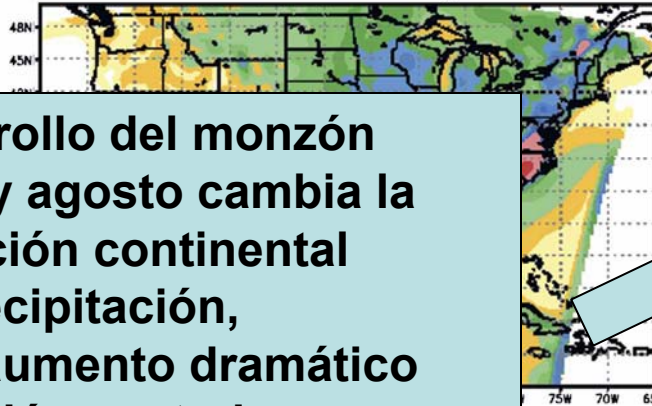
Modelo regional

El desarrollo del monzón en julio y agosto cambia la distribución continental de la precipitación, con un aumento dramático en la región central del monzón.

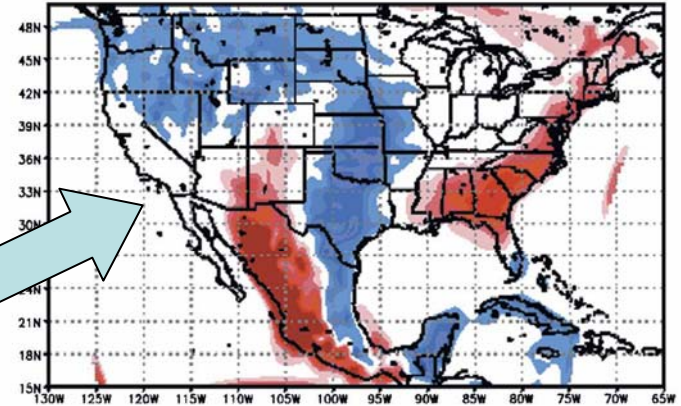
Estas tendencias no se representan bien en los modelos globales

Observa

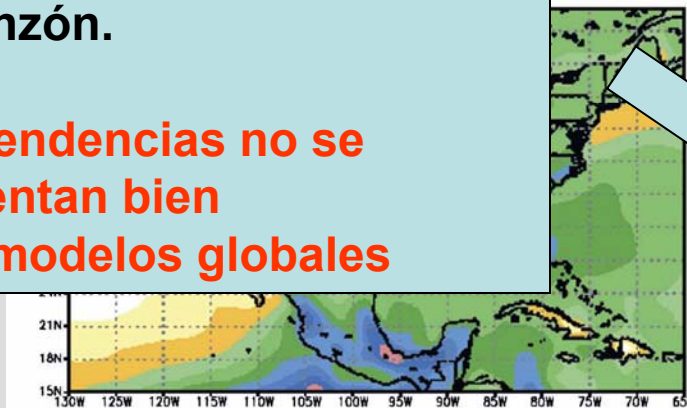
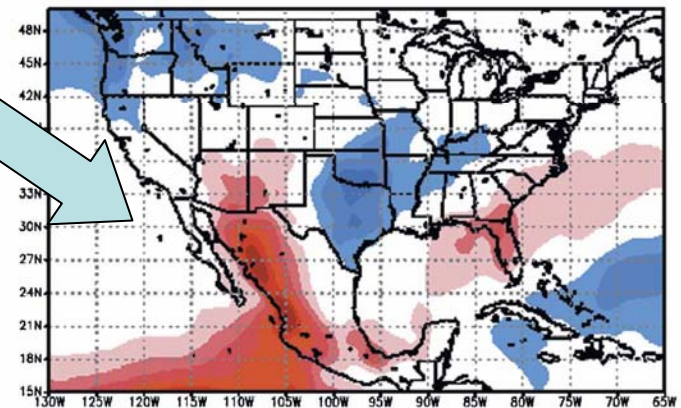
RAMS: JJA Average



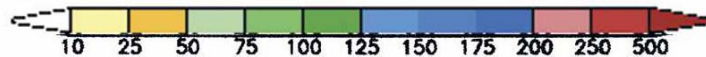
RAMS: Peak - Premonsoon



NARR: Peak - Premonsoon



Unidades (mm)



**¿Por qué podemos representar el monzón “bastante bien” con un modelo regional y no con un modelo global?**

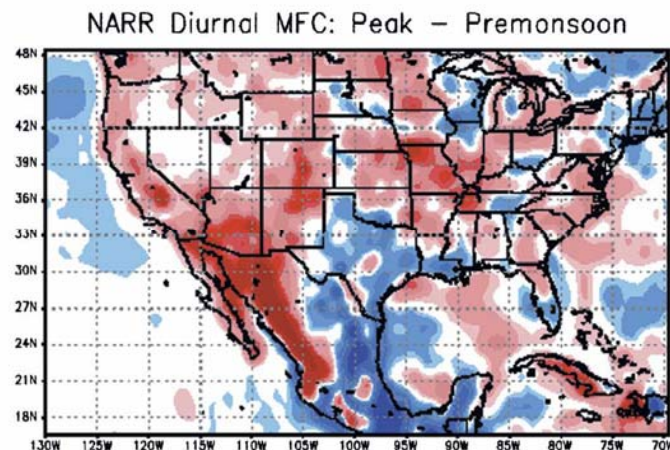
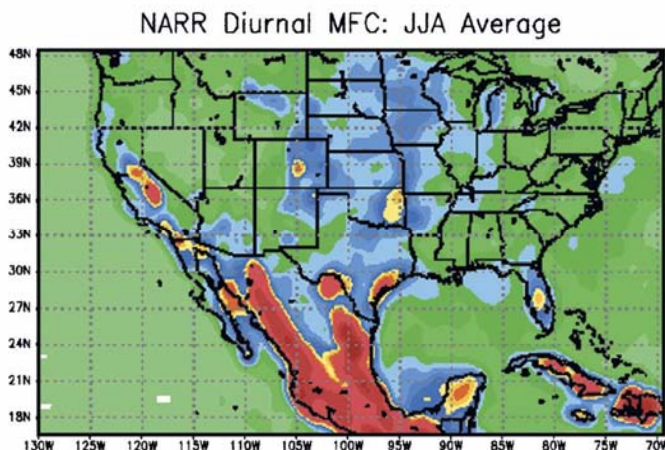
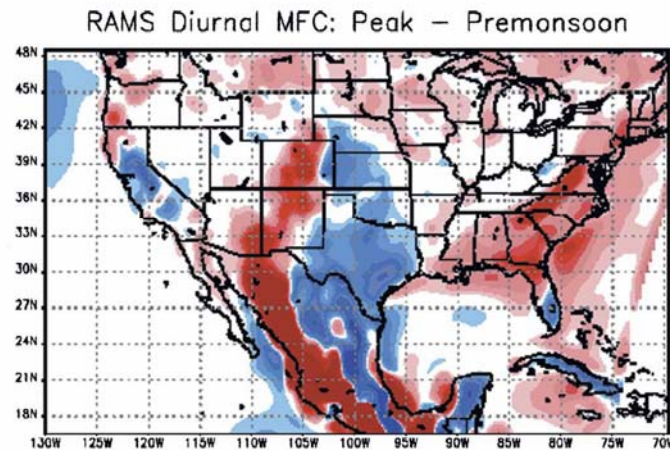
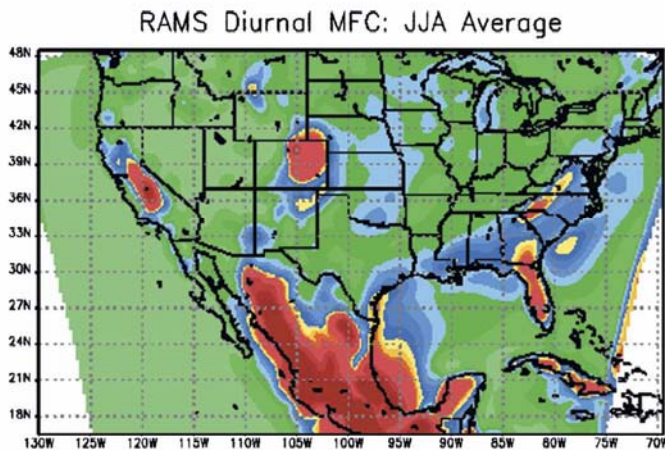
**Es debido a la representación de los factores locales que les mencioné antes como:**

- Ciclo diurno de la convección**
- Vientos a los niveles bajos**
- Procesos superficiales**

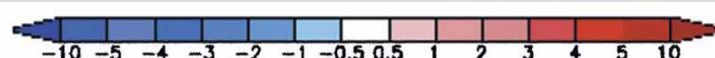
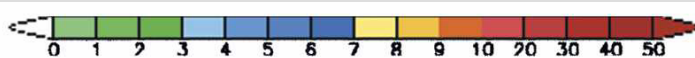
# Energía espectral de la convergencia del flujo de humedad (CFH) en la banda diurna

**Modelo regional  
(1950 a 2002)**

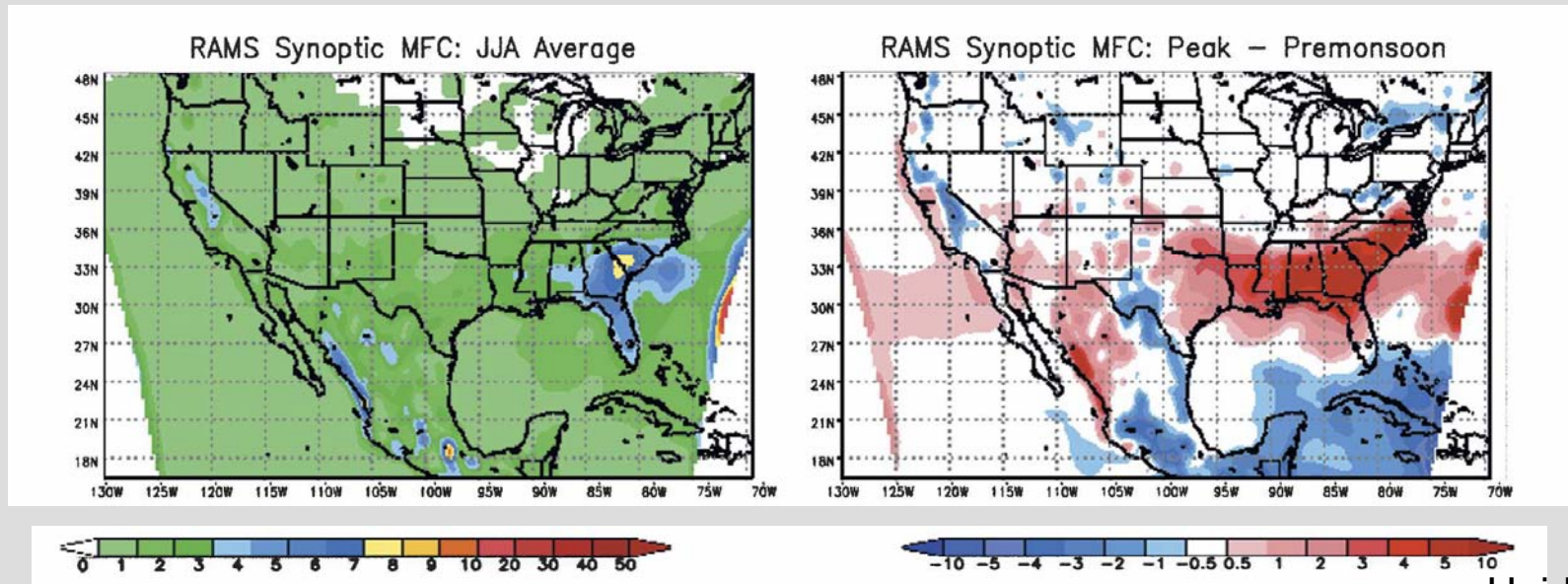
**Reanálisis Regional de Norteamérica  
(1979 a 2002)**



Unidades:  
 $\text{mm}^2 \text{ día}^{-2}$



# Energía espectral de la CFH en la banda sinóptica (4 a 15 días)

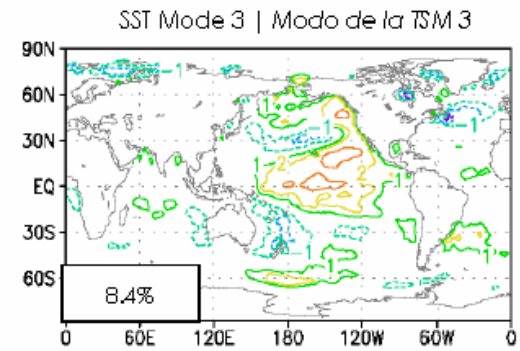
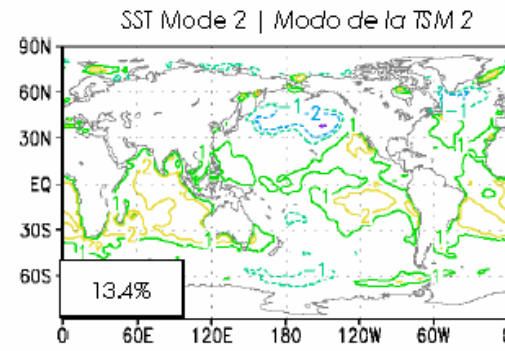
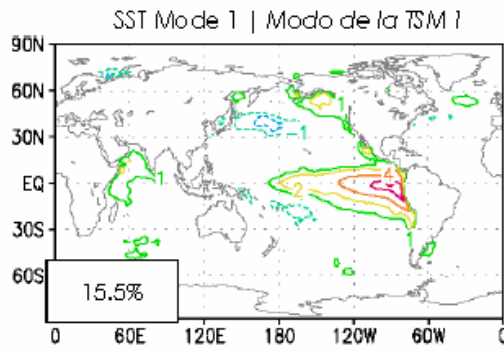


Esta banda corresponde a las oleadas de humedad desde el Golfo de California y el paso asociado de perturbaciones de los niveles-altos del este. Permiten que la convección en la región central del monzón se organice en complejos convectivos de mesoescala que se propagan desde las montañas hacia el oeste. **Es importante para la lluvia en Sonora y también en Arizona.**

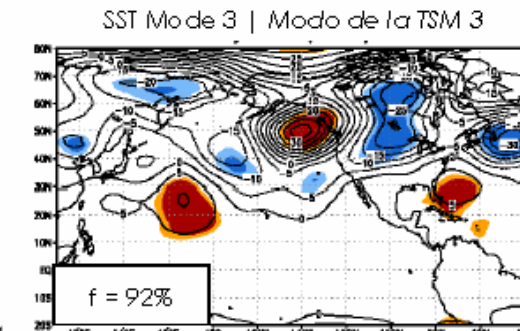
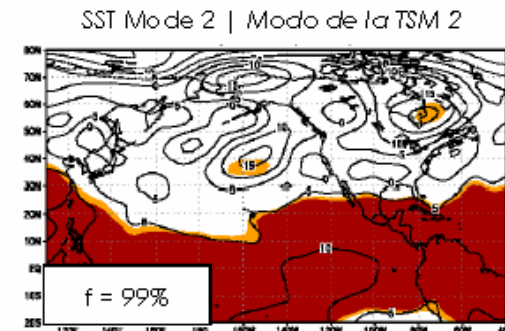
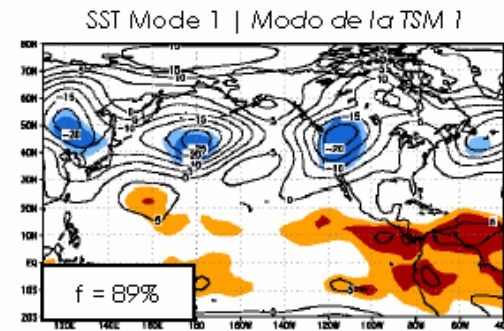
# Modos de la TSM y Teleconexiones en el verano

Las teleconexiones asociadas con los modos de la TSM global que varían interanualmente aceleran o retrasan el inicio del monzón. Estas teleconexiones evolucionan en el tiempo y están presentes en junio y julio, pero no en agosto.

Patrones dominantes de la TSM en el verano

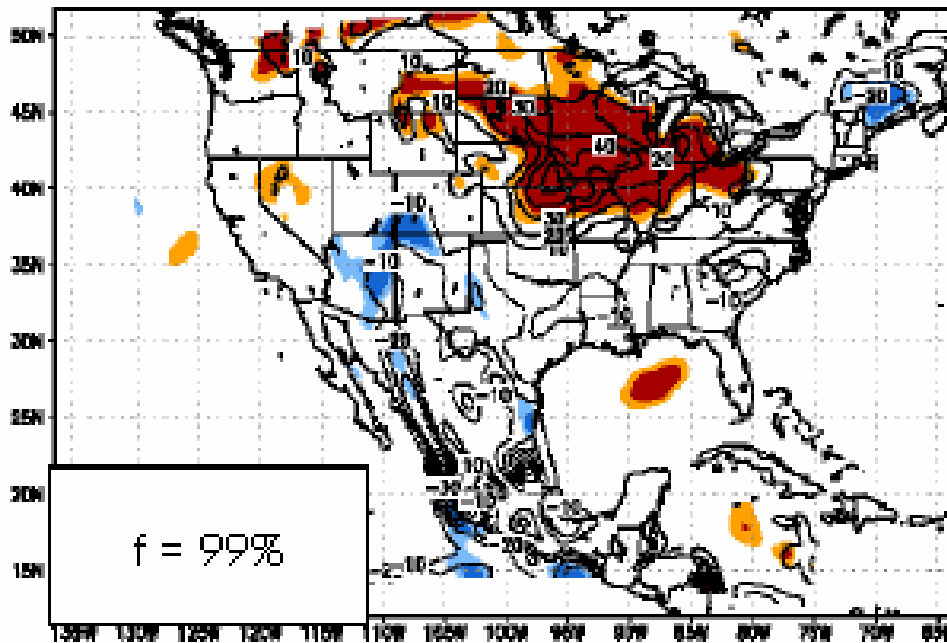


Anomalías de la circulación atmosférica asociadas con los patrones de la TSM





# El cambio de precipitación al inicio del monzón simulado por el modelo asociado con la variabilidad en la TSM en el Pacífico



Los colores indican la significativa estadística local al nivel 90%. El “f” es la significativa estadística del mapa.

Las teleconexiones del Pacífico en el verano explican la mayoría de la variabilidad en la precipitación *al inicio del monzón, pero no al fin.*

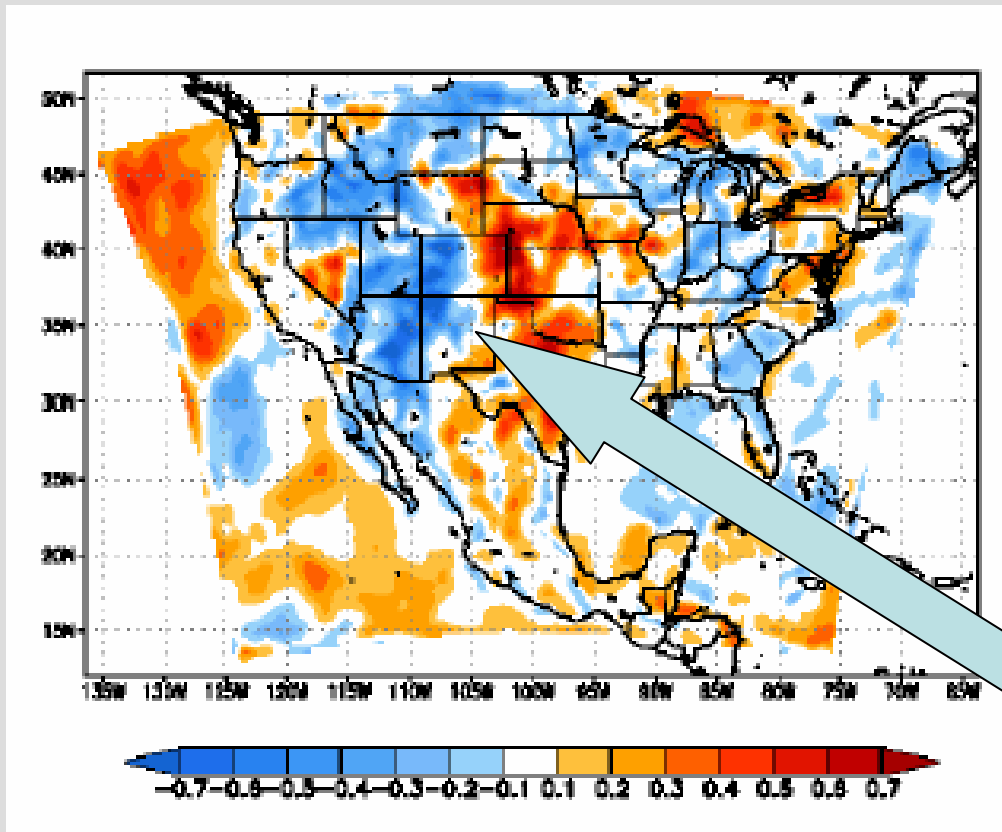
La Niña y Oscilación Pacífica  
Década negativa:

Monzón fuerte y temprano.  
Condiciones secas en el centro de los EE.UU..

El Niño, Oscilación Pacífica  
Década positiva:

Monzón débil y retrasado  
Condiciones húmedas en el centro de los EE.UU..

# ¡Y necesitamos el modelo regional para representarlo!



¡Fíjense en los cambios dramáticos en el ciclo diurno de la convección entre la región central del monzón y el centro de los EE.UU.!

*Las tendencias en el ciclo diurno cambian tan abruptamente en la divisora continental.*

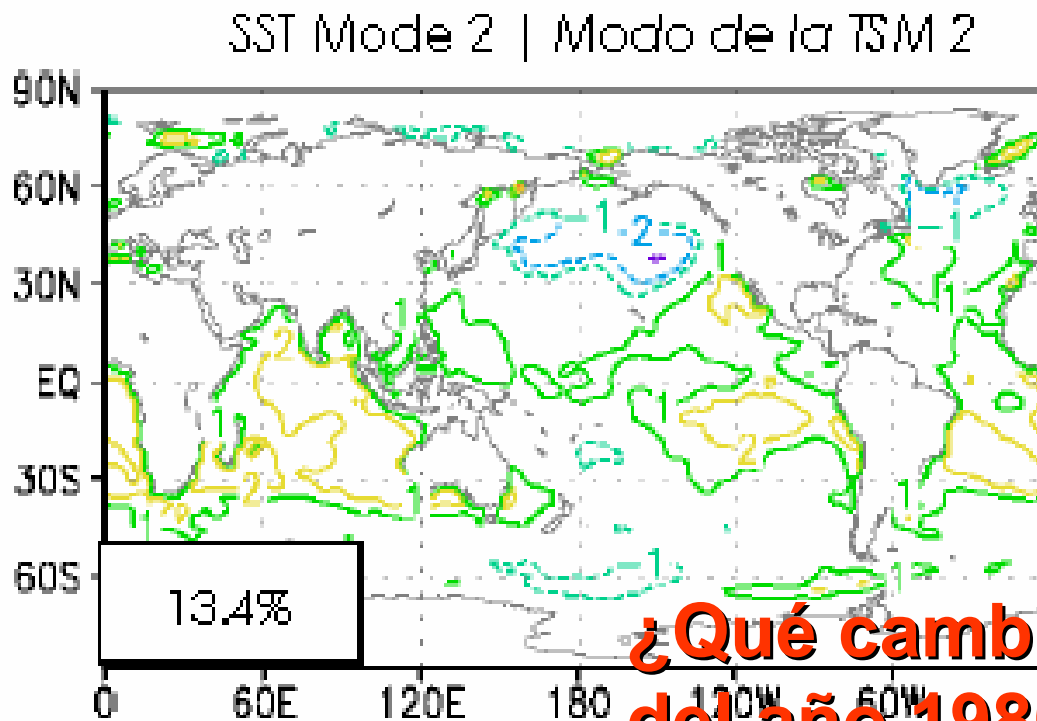
El cambio en el ciclo diurno de la convergencia del flujo de humedad asociado con las teleconexiones del Pacifico.

**Hay una cosa (tal vez muy importante)  
que aún no he discutido....**

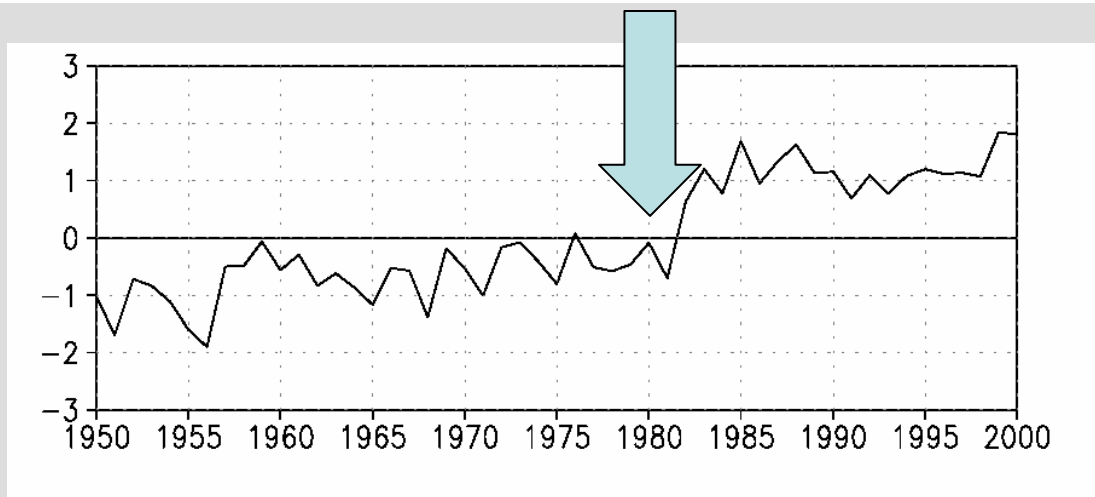
**Recuerden el modo 2 de la TSM.**

**Este modo no está centrado en el  
Pacífico y refleja un aumento global en la  
TSM en los trópicos desde el año 1980.**

**El modo del  
aumento  
global de la  
TSM en los  
trópicos**



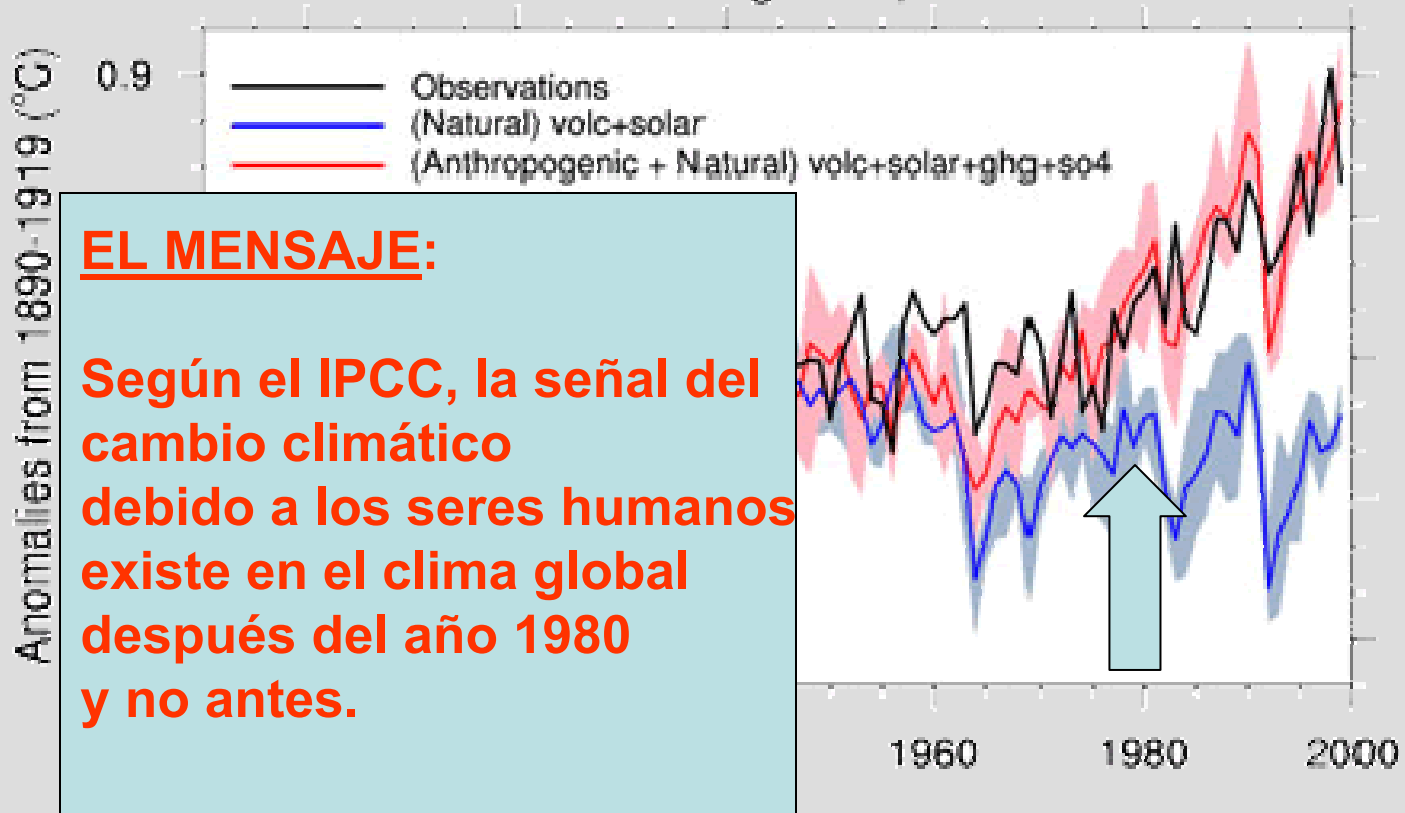
**Serie del  
tiempo  
(Componente  
principal)**



# Los experimentos de atribución del cambio climático (de IPCC)

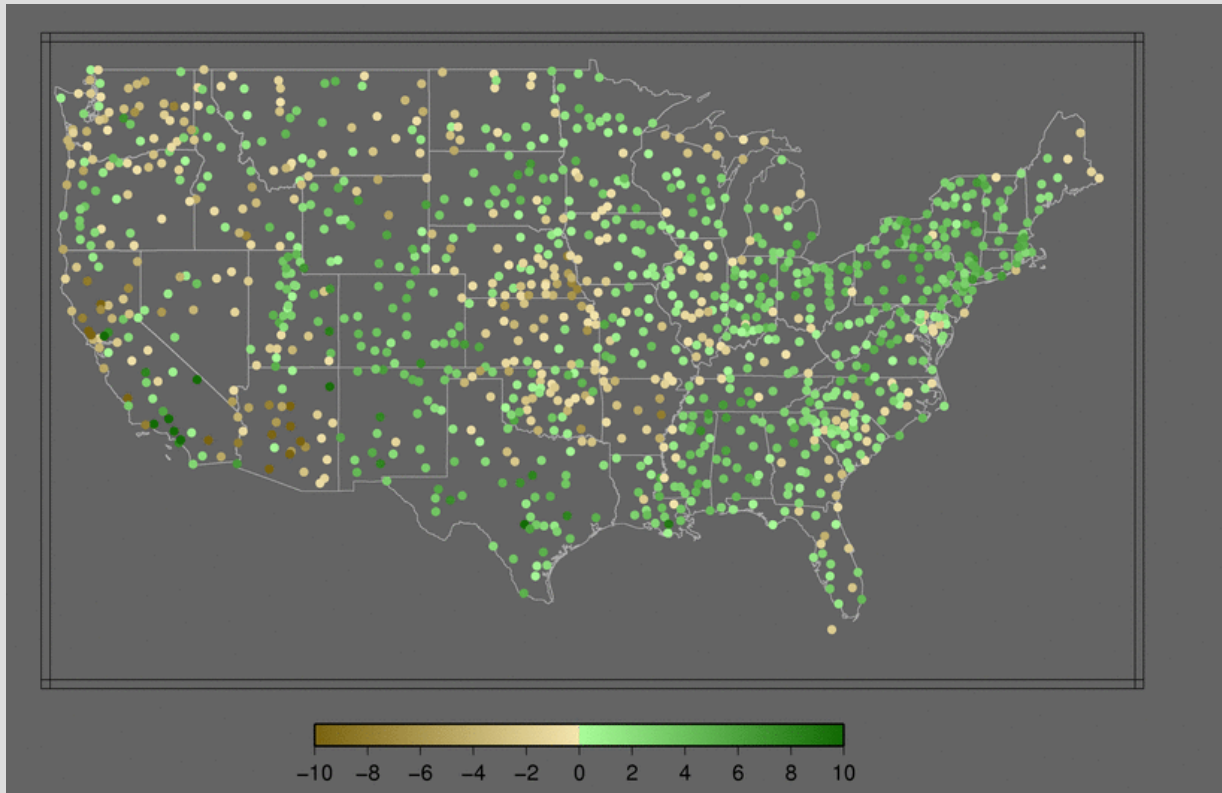
## PCM Ensembles

Global Average Temperature



(Meehl et al., National Center for Atmospheric Research)

# Las tendencias de precipitación observada en los EE.UU. durante el verano (1950 a 2005)

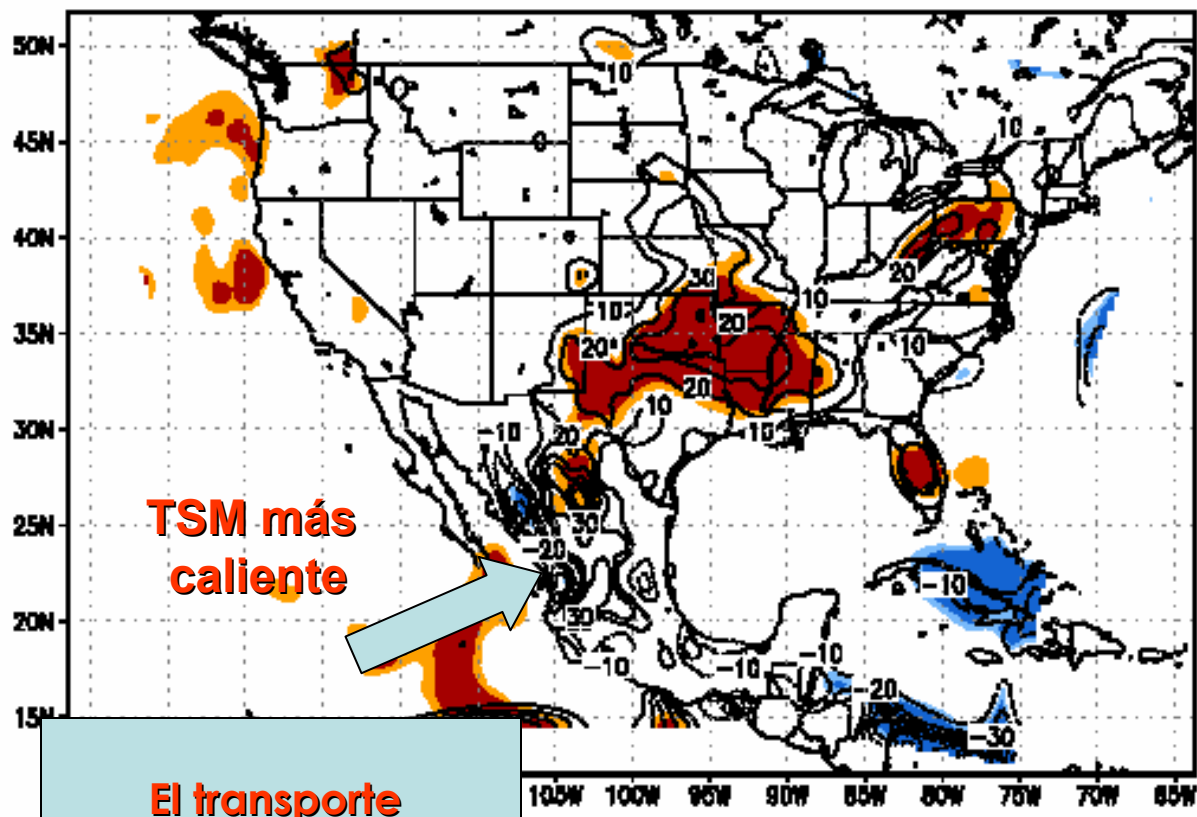


La precipitación aumentó a través de la mayoría de los EE.UU. durante los últimos cincuenta años.

Está asociada con un aumento de la humedad de la atmósfera.

El porcentaje de cambio por cada década.(NCDC)

# Cambio en la precipitación simulada por el modelo regional desde 1980 (promedio del verano)



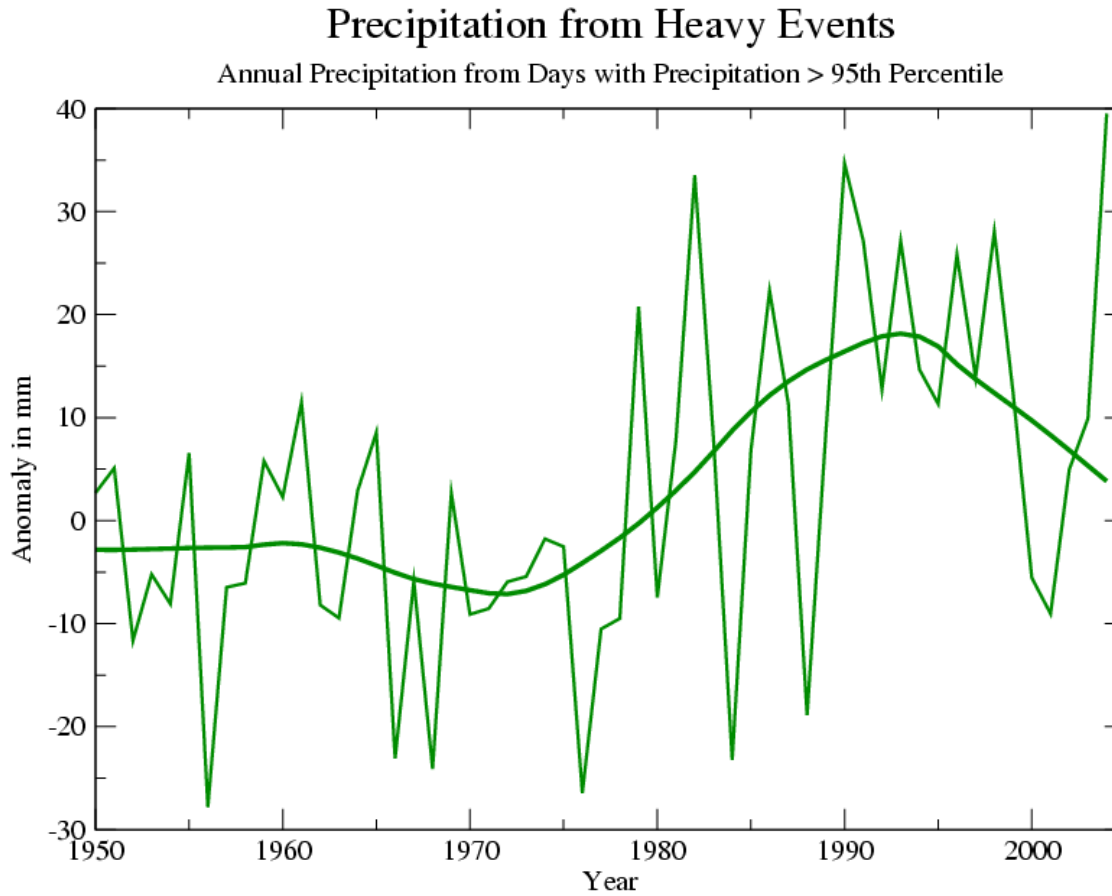
La precipitación en el este de México y los EE.UU. aumenta, pero en el oeste disminuye.

*La precipitación en el oeste de México disminuye debido al cambio local de la gradiente en la TSM en el Pacífico.*

El transporte de humedad disminuye del Pacífico al oeste de México

Unidades: mm

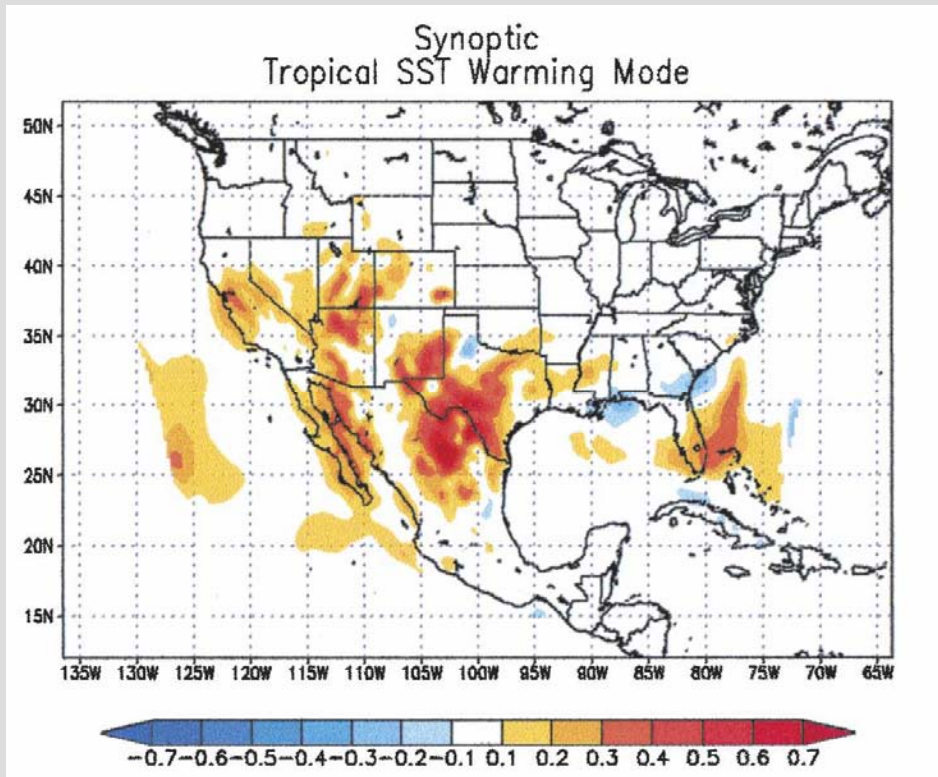
# Aumentó la precipitación de los eventos grandes en los EE.UU. durante los últimos veinte años (Observaciones pluviométricas)



(NOAA NCDC)



# El cambio de CFH debido a los eventos sinópticos asociado con el aumento de la TSM en los trópicos



Las simulaciones sugieren que la precipitación del monzón que viene de la convección más organizada está creciendo.

¿Qué significa para Sonora y Arizona?

Tal vez no ha cambiado la cantidad de lluvia del monzón, pero es más intensa que hace cincuenta años.

**Por supuesto necesitamos observaciones para confirmar si estas tendencias existen en realidad en México.**

**Por ejemplo, los datos que me dio Chris Watts sugieren que la precipitación no ha cambiado en Sonora desde 1980.**

# ¿Hay más eventos intensos de lluvia también en el noroeste de México?

Una investigación de Dra. Tereza Cavazos de CICESE:

(... presentada en un taller de hidrometeorología en Tucson hace dos meses)

Analizó 39 estaciones en la región central del monzón.

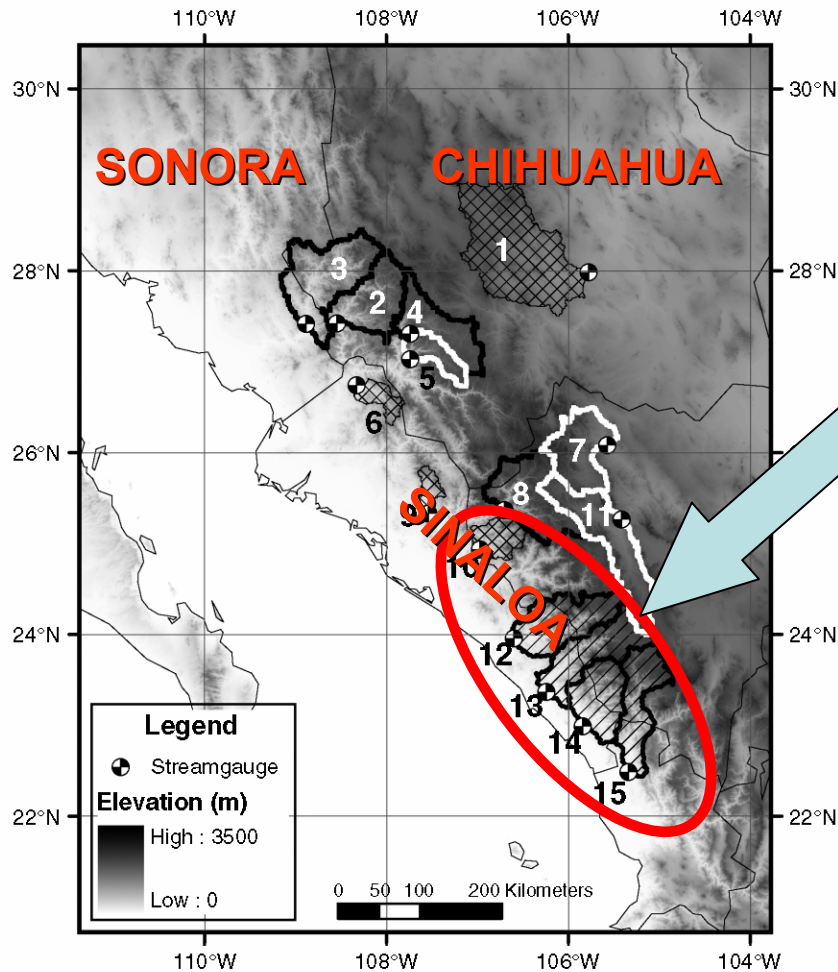
**Concluyó que mostró una tendencia positiva y significativa en la intensidad durante el periodo 1950 a 2003, especialmente en los eventos asociados con sistemas tropicales y en zonas montañosas.**

El artículo está en revisión. Lo siento que me falten las figuras.

**Aquí están otros datos del flujo de agua en oeste de México**

**Estos son de un artículo escrito por David Gochis en el *International Journal of Climatology*.**

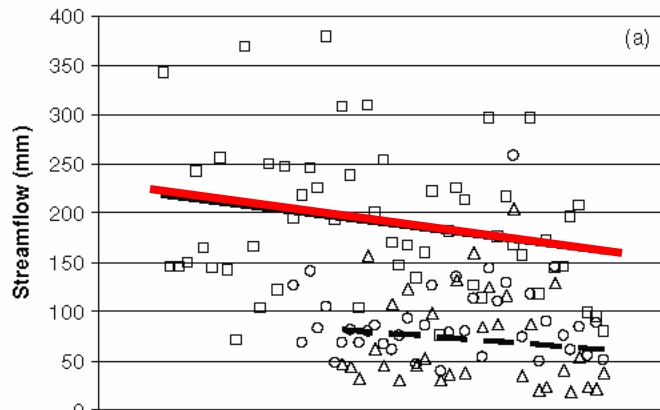
# Las regiones que usaron Gochis et al. (2007) para clasificar el flujo del agua de los ríos del oeste de México



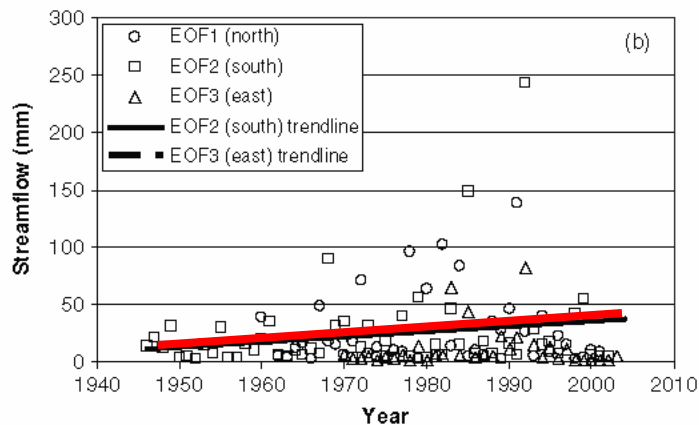
Estamos interesados en lo que está pasando aquí en el sur de Sinaloa...

# Tendencias en el flujo de agua en los ríos del sur de Sinaloa (las líneas rojas)

Verano



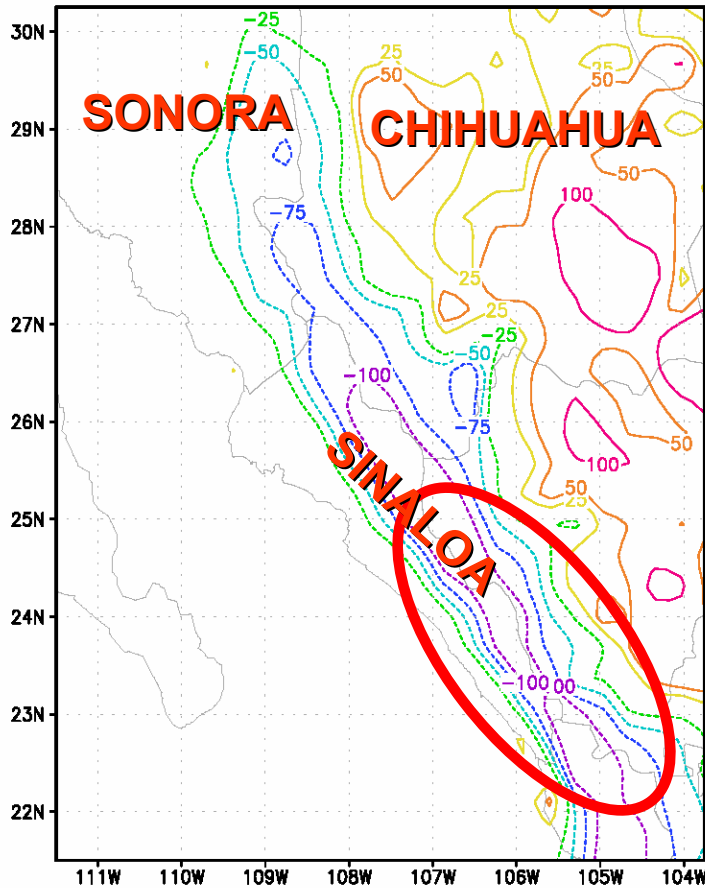
Invierno



Los datos de observación indican que el flujo de agua en los ríos del sur de Sinaloa disminuyó durante los últimos cincuenta años.

El porcentaje de la disminución en el flujo de agua es aproximadamente 30%

# El cambio correspondiente de la precipitación del modelo regional durante el mes de julio asociado con el modo 2 de la TSM global

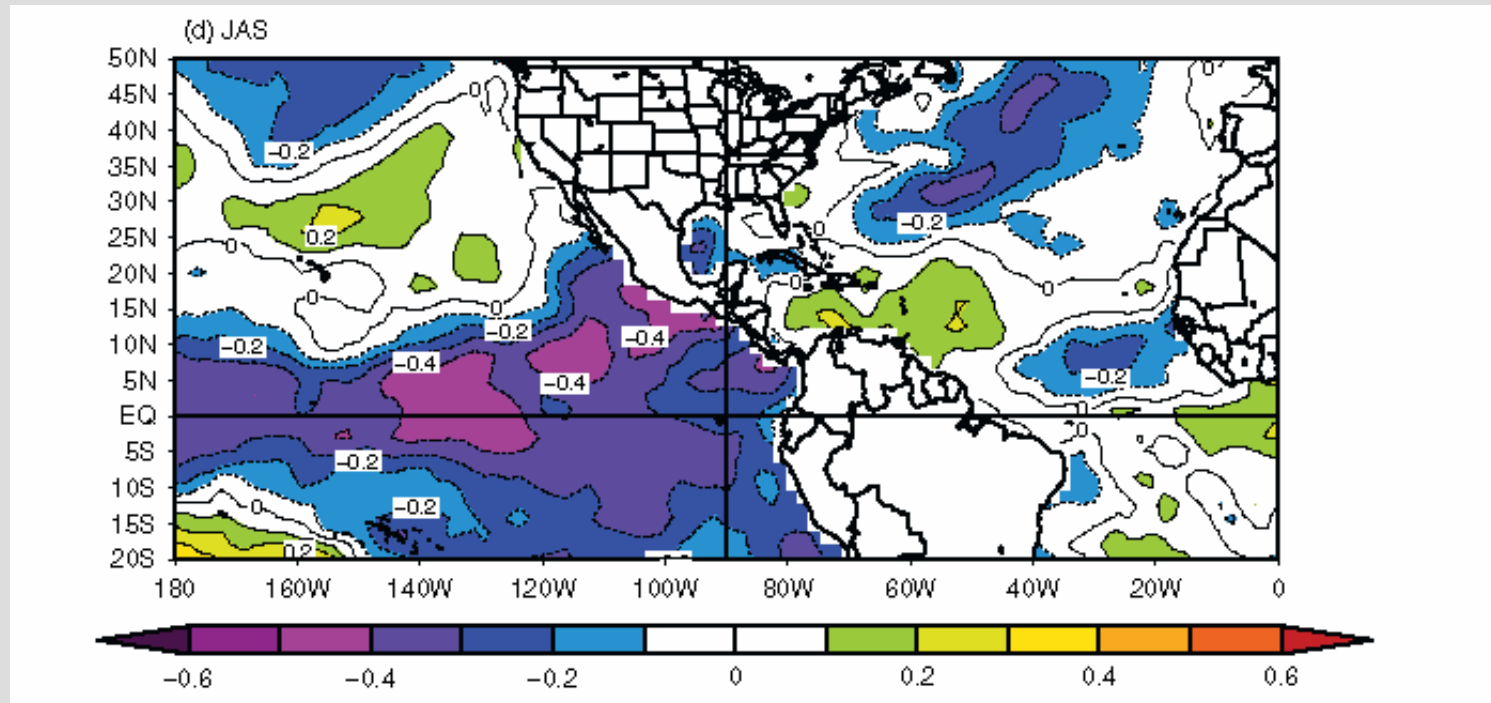


Unidades: mm

Las observaciones del flujo de agua en los ríos en el sur de Sinaloa generalmente están de acuerdo con los resultados del modelo regional.

El porcentaje de la disminución de la precipitación también es cerca de 30%.

# Las anomalías de la TSM asociadas con las tendencias en el flujo de agua en los ríos en el sur de Sinaloa durante el verano



¡Es el mismo mensaje de las observaciones! Las aguas más calientes están asociadas con menos precipitación en el oeste de México.



**Mi opinión científica de la evidencia de los modelos y las observaciones:**

**El aumento global de la TSM en los trópicos y los cambios asociados con el clima del verano de Norteamérica son expresiones del cambio climático debido a las actividades humanas.**

**¡Y se necesita más investigación!**

# Conclusiones

**El monzón es muy importante para nuestra región. Necesitamos comprender mejor como funciona y como cambiará en el futuro.**

**Podemos utilizar los modelos regionales para estudiar los procesos del monzón que ocurren a mesoescala, por ejemplo el ciclo diurno de la convección. Necesitamos representar estos procesos fundamentales “bastante bien” en un modelo antes de hacer cualquier conclusión sobre la variabilidad interanual o el cambio climático. Creo que las personas que están escribiendo artículos científicos con las “proyecciones catastróficas” no se han dado cuenta de eso.**

**Los resultados de mis investigaciones sugieren que hay consideraciones diferentes a través de la región central del monzón donde vivimos.**

**Suroeste de los EE.UU. y Sonora: Hay que considerar la variabilidad interanual que está asociada con los modos de la TSM en Pacífico y el aumento de lluvia intensa.**

**Sinaloa (al oeste de la Sierra Madre): Hay que considerar la disminución de lluvia y el flujo de agua en los ríos debido al aumento de la TSM en los trópicos.**

# **Mi comentario final...**

**Como les dije antes, vengo a México porque creo que la investigación sobre el clima es importante para nuestros dos países. Pero necesitamos, de los dos lados de la frontera, investigadores y estudiantes listos y que tengan motivación...**

***Y espero haber hablado español bastante bien con mi acento que es un poco norteamericano y poco puertorriqueño .***

***¡Muchas gracias por su atención!***