

**Christopher L. Castro**  
 Department of Atmospheric Science, Colorado State University  
 Department of Atmospheric Sciences, University of Arizona (July 2006)  
 E-mail: [castro@atmo.arizona.edu](mailto:castro@atmo.arizona.edu)

**Roger A. Pielke, Sr.**  
 CIRES, University of Colorado at Boulder

**Jimmy O. Adegoke**  
 Laboratory for Climate Analysis and Modeling  
 Department of Geosciences  
 University of Missouri, Kansas City

### 1. Introduction

The use of a regional climate model to study the summer weather of North America has many advantages. Global atmospheric models and global reanalyses are currently available for a period greater than fifty years and include large-scale climate variability. However, because of the high resolution they cannot represent important details like the diurnal cycle of convection, low-level winds that transport moisture toward the continental interior, and the seasonal maximum of rainfall of the North American monsoon. Simulation results with the CSU RAMS model ( $\Delta x = 35$  km) which use the NCEP-NCAR Global Reanalysis (1950 to 2002) as the lateral boundary condition are presented. In this summary, emphasis is placed on the model climatology and interannual variability associated with remote sea surface temperatures (SST).

### 1. Introducción

El uso de un modelo regional climático para estudiar el tiempo en el verano en Norteamérica tiene muchas ventajas. Actualmente se dispone de modelos atmosféricos globales y de reanálisis globales para un periodo de más de cincuenta años que incluyen variabilidad climática de gran escala. Sin embargo, debido a la baja resolución no pueden representar detalles importantes como el ciclo diario 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. Se presentan los resultados de simulaciones llevadas a cabo con el modelo RAMS de CSU ( $\Delta x = 35$  km) utilizando las Reanálisis Globales de NCEP-NCAR (1950 a 2002) como condición límite lateral. En este resumen, se pone énfasis en la climatología del verano y la variabilidad interanual asociada con las temperaturas superficiales del mar (TSM) en regiones alejadas.

### 3. Modes of Convection

RAMS-simulated moisture flux convergence (MFC) is used to investigate time-varying modes of convection. MFC is decomposed using spectral analysis for each year for a moving thirty-day period. The average of all spectra is computed and multiplied by the fraction that is above red noise. Three distinct spectral bands appear, each associated with different rainfall mechanisms.

**Synoptic mode** (4 to 10 days): Corresponds with surges of moisture from the Gulf of California and the associated passage of upper-level easterly disturbance. Allows convection in the core monsoon region to organize into mesoscale convective complexes that propagate westward from the mountains.

**Sub-synoptic mode** (1.5 to 3 days): Corresponds with mesoscale convective complexes in the central U.S. that propagate eastward.

**Diurnal mode**: Corresponds with convection which occurs due to orographic forcing and land-sea contrast. Is the dominant, and the most important, mechanism for summer rainfall.

### 3. Modos de la Convección

La convergencia del flujo de humedad (CFH) simulada por RAMS se usa para investigar los modos de la convección que varían temporalmente. La CFH se descompone usando análisis espectral para cada año para periodos de treinta días móviles. Se calcula el promedio de todos los espectros y se multiplica por la fracción por encima del ruido rojo. Aparecen tres bandas espectrales en particular, cada una asociada con mecanismos diferentes de lluvia.

**Modo sinóptico** (4 a 10 días): Corresponde a una oleada de humedad desde el Golfo de California y el paso asociado de perturbaciones de los niveles-altos del este. Permite 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.

**Modo sub-sinóptico** (1.5 a 3 días): Corresponde a los complejos convectivos de mesoescala en el centro de los EE.UU. que se propagan hacia el este.

**Modo diario**: Corresponde a la convección que ocurre a causa del forzante orográfico y el contraste entre la tierra y el mar. Es el mecanismo dominante, y el más importante, para las lluvias de verano.

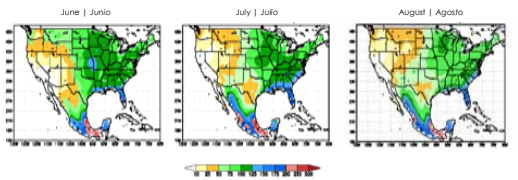
### 5. Summer Teleconnections

Years are grouped according to the dominant SST modes in the Pacific, using composite analysis. Specific and significant patterns in the geopotential height are associated with the SST modes in the Pacific. These patterns evolve in time and are predominant at the beginning of the summer. At that time, the position and intensity of the monsoon ridge is modified. When the upper-level winds in the Pacific diminish at the end of July, the source of Rossby waves also diminishes and the teleconnections cease.

### 5. Teleconexiones en el Verano

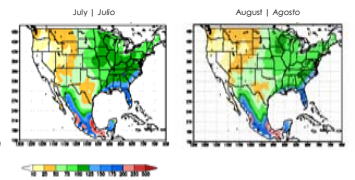
Los años se agrupan según los modos dominantes de la TSM usando análisis de composición. Patrones particulares y significativos en el geopotencial están asociados con los modos de la TSM en el Pacífico. Estos patrones evolucionan en el tiempo y son predominantes al principio del verano. En ese momento, la posición e intensidad del eje de alto presión del monzón se modifican. Cuando los vientos de niveles altos en el Pacífico disminuyen al final de julio, la fuente de las ondas de Rossby disminuye y las teleconexiones cesan.

### 2. Summer Precipitation

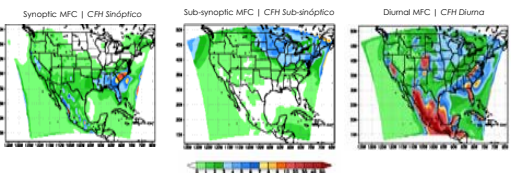


**Figure 1.** Observed CPC gauge precipitation (mm) for summer months and the difference between premonsoon (15 June to 15 July) and monsoon peak (15 July to 15 August) periods.

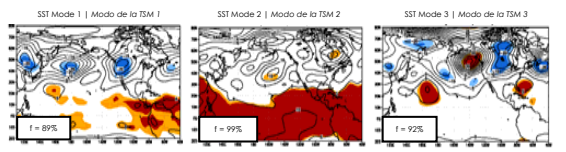
### 2. Precipitación en el Verano



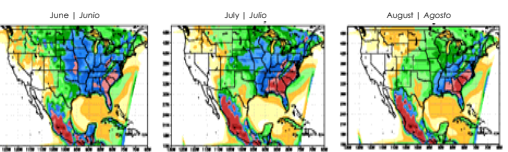
**Figure 1.** La precipitación (mm) de CPC de observaciones pluviométricas para los meses del verano y la diferencia entre los meses de pico del monzón (15 julio y 15 agosto).



**Figure 3.** Weighted spectral power of RAMS-simulated July MFC ( $\text{mm}^2 \text{day}^{-2}$ ) for the three distinct spectral bands.



**Figure 5.** 500-hPa geopotential height anomalies (m) associated with global summer SST modes at the beginning of July. Area of local significance shaded at 90% and 95% levels. Field significance (f) also is shown.



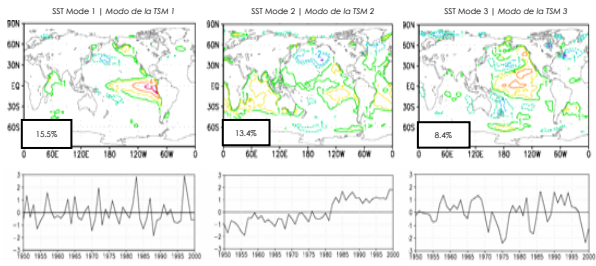
**Figure 2.** Same as Fig. 1 for RAMS-simulated precipitation.

### 4. Global SST Patterns

To investigate interannual climate variability in the RAMS simulations, the dominant patterns of summer global SST and their associated time series were determined using a rotated principal component analysis. SST modes 1 and 3 are centered in the Pacific and strongly govern North American summer climate. SST mode 1 is ENSO and varies on a timescale between 2 to 5 years. SST mode 3 is probably related to the Pacific Decadal Oscillation. SST mode 2 reflects an increase in tropical SST since 1980 which could be a climate change signal. These modes were also determined to be statistically significant in time using multispectral singular value decomposition analysis.

### 4. Patrones Globales de la TSM

Para investigar la variabilidad interanual del clima en las simulaciones con RAMS, los patrones dominantes de la TSM global en el verano y las series del tiempo asociadas fueron determinadas usando un análisis de componentes principales rotados. Los modos 1 y 3 de la TSM están centrados en el Pacífico y gobiernan marcadamente el clima del verano en Norteamérica. El modo 1 de la TSM es el ENSO y varía en una escala temporal entre 2 a 5 años. Es probable que el modo 3 de la TSM esté relacionado con la Oscilación Pacífico Decadal. El modo 2 de la TSM refleja un aumento de la TSM tropical desde 1980 que podría ser una señal del cambio climático. Usando un análisis de descomposición singular multippectral del valor se determinó que estos modos también son estadísticamente significativos en el tiempo.



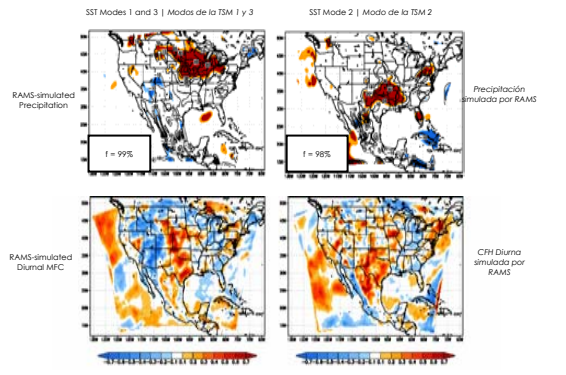
**Figure 4.** The first three global summer SST modes (1950 to 2000) and their associated normalized time series. The units for SST patterns are arbitrary. The percent explained variance of each mode is also shown.

### 6. Model Interannual Variability

The teleconnections associated with the interannually varying global SST modes accelerate or delay the onset of the monsoon. This explains the well-known opposite relationship in summer rainfall between the central U.S. and core monsoon region. The recent increase in tropical SST is associated with an increase in summer rainfall in the U.S. and eastern Mexico. However, the model results indicate that summer rainfall in western Mexico decreased over the last twenty years. The same trend also exist in gauge observations. The interannual variability of diurnal MFC shows that the continental divide clearly separates regions with different relationships between precipitation and remote SST.

### 6. Variabilidad Interanual en el Modelo

Las teleconexiones asociadas con los modos de la TSM global que varían interanualmente aceleran o retrasan el inicio del monzón. Esto explica la relación opuesta bien conocida en la precipitación entre el centro de los EE.UU. y la región central del monzón. El aumento reciente en la TSM tropical está asociado con un aumento de la precipitación en el verano en los EE.UU. y en el este de México. Sin embargo, los resultados del modelo indican que la precipitación en el verano en el oeste de México disminuyó durante los últimos veinte años. Las mismas tendencias también existen en las observaciones pluviométricas. La variabilidad de la CFH muestra que la división continental separa claramente las regiones con relaciones diferentes entre la precipitación y la TSM en regiones alejadas.



**Figure 6.** Las anomalías de la precipitación (mm) simuladas por RAMS y el cambio en el porcentaje de la CFH simulada por RAMS asociadas con los modos globales de la TSM. En las mapas de la precipitación, se sombrea las áreas significativas locales para los niveles de 90% y 95% y se muestra también la significancia del mapa (f).

The evolution of RAMS-simulated precipitation is reasonable. Prior to monsoon onset there is a rainfall minimum in the central U.S. and a rainfall maximum in the core monsoon region. The development of the monsoon in July and August changes the continental distribution of precipitation, with a dramatic increase in the core monsoon region. The amount of precipitation from the modes, in general, is overestimated with respect to gauge observations in a typical year in many modes), especially in the southeast U.S. and the Sierra Madre Occidental in Mexico.

La evolución de la precipitación simulada por RAMS es razonable. Antes del inicio del monzón existe un máximo de lluvia en el centro de los EE.UU. y un mínimo de lluvia en la región central del monzón. 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. La cantidad de precipitación en el modelo, en general, es sobrestimada con respecto a las observaciones pluviométricas (un resultado típico en muchos modelos), especialmente en el sureste de los EE.UU. y en la Sierra Madre Occidental en México.