

INFLUENCIA DE LOS OCEÁNOS PACÍFICO Y ATLÁNTICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO Y DE LA PRECIPITACIÓN EN VENEZUELA.

María Isabel Rojas P⁽¹⁾, Luciano Ponzi P⁽²⁾, Carlos Repelli⁽³⁾

⁽¹⁾ Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Venezuela, ⁽²⁾ Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos, Brasil, ⁽³⁾ Lamont-Doherty Earth Observatory of the Columbia University, USA

Resumen

En el presente trabajo se aplicó el Sistema de Modelaje Estadístico de los Océanos - SIMOC con la finalidad de estudiar la relación de los Océanos Atlántico y Pacífico con las anomalías de precipitación registradas en Venezuela, y poder así determinar el área de mayor incidencia y el mes para la previsión de la precipitación durante la temporada de lluvias. A fin de estudiar los Océanos como factores incidentes en el comportamiento de la precipitación en el período de lluvias en Venezuela se seleccionó como variable macroclimática la Temperatura de la Superficie del Mar (SST). Esta información fue obtenida de las series de datos reconstruidas por el National Center for Environmental Prediction (NCEP), a partir del COADS (Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set) con una resolución de 2 grados de latitud por longitud, en el período 1950-1992 y los provenientes del Climate Prediction Center (CPC) en el período 1993-1997; y como campo dependiente el formado por los datos de precipitación, en el período comprendido entre 1951 y 1995. Para seleccionar el campo predictor con mayor impacto en las anomalías de precipitación en la temporada húmeda, se examinó el ensayo donde se explicara el 80% de varianza con el menor número de modos y el primer componente en el campo predictor, retuviera el mayor porcentaje de varianza, y para determinar el mes más representativo y región de mayor influencia sobre el patrón de precipitación, se examinaron el porcentaje de estaciones pluviométricas que presentaran una correlación significativa mayor o igual al valor absoluto de 0.4 con el campo predictor en el mes seleccionado. La validación del modelo se realizó aplicando regresión múltiple durante el período 1981 - 1995. De esta manera se pudo determinar que la mayor ponderación (varianza en número de modos) estuvo representada por el área del Océano Atlántico, en el mes de marzo, donde existe un 62% de estaciones mayor correlacionadas, con anomalías de precipitación promedio registrada durante los meses abril, mayo, junio y julio(a_j), período que define el primer trimestre de la temporada húmeda, para la mayor parte del territorio nacional con un régimen de precipitación unimodal (máximo en Junio) afectada directamente por la actividad de la Convergencia Tropical. Como segundo valor más alto de ponderación se presenta en el Océano Pacífico durante el mes de enero, el cual tiene mayor influencia sobre el campo de la precipitación en el mes de febrero, con una incidencia del 32 %, de estaciones que coinciden con aquellas áreas donde existe un patrón semianual y que durante el curso del año completan dos oscilaciones entre lluvioso y seco.

1.- INTRODUCCION.

Venezuela está ubicada entre los 0° 39' a 12° 12' grados de latitud norte y los 59°47'a 73°23' grados de longitud oeste, por lo que su climatología responde en gran medida a la influencia constante de los vientos del noreste y este de la baja tropósfera. En relación a las variaciones de la circulación atmosférica para los períodos extremos de verano e invierno (Hemisferio Norte) encontramos que para julio los vientos del este se extienden desde la superficie hasta la alta tropósfera. Sobre el mar Caribe, predominan durante la estación de verano (mayo a septiembre), la convergencia, desde el nivel de la superficie hasta 300mb (Hastenrath,1976). Hastenrath destaca además, la presencia de células separadas de altas presiones en el Caribe - Atlántico y el dominio de una componente norte de viento fuerte en la alta tropósfera, que parece estar asociada con la ocurrencia de un período seco de la estación lluviosa. En septiembre y octubre, la convergencia y el movimiento ascendente del aire a través de la tropósfera, aumenta de nuevo y con ello se favorecen los mecanismos generadores de precipitación. Un cambio más o menos abrupto hacia el tipo de circulación de invierno, se observa al final de octubre, cuando en el Caribe tiende a aumentar la divergencia en los niveles bajos y hacia los 400 mb, desde noviembre hasta febrero. Otro elemento planetario que ejerce un importante control sobre las condiciones climáticas del país es la Zona de la Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual ejerce una profunda influencia sobre las condiciones atmosféricas. Enfield y Alfaro (1997) señalan que esta situación será dominante cuando tenga lugar una configuración meridional dipolar entre las SST del Océano Atlántico y el Pacífico (antisimétrica a la ZCIT), dependiente de la estabilidad atmosférica, los campos de vientos y de la vaguada de altura tropical. A partir de los sistemas antes mencionados y debido a la topografía sobre el territorio nacional, se han podido determinar hasta 18 prototipos de distribución anual de la precipitación en las diferentes regiones del país. De esta compleja variabilidad de regímenes pluviométricos, emergen, si generalizamos, dos patrones genéricos: el patrón unimodal cuyo máximo ocurre durante el Verano (astronómico - H.N) predominante en casi todo el territorio nacional y el bimodal característico de toda la región al norte y oeste de la Cordillera de los Andes así como también en las áreas costeras con un máximo principal en el mes de octubre y uno secundario en el mes de abril.

El objetivo principal del presente trabajo fue aplicar el modelo SIMOC con la finalidad de estudiar la relación del Océano Atlántico y Pacífico, con las anomalías de precipitación registradas en Venezuela y determinar el área de mayor incidencia y mes para la previsión de la precipitación en la temporada de lluvias.

2.-BASE DE DATOS

A fin de estudiar los Océanos como factores incidentes en el comportamiento de la precipitación en el período de lluvias en Venezuela se seleccionó como la variable macroclimática la Temperatura de la Superficie del Mar(SST). Esta información fue obtenida de las series de datos reconstruidas por el National Center for Environmental Prediction(NCEP), a partir del COADS (Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set) con una resolución de 2 grados de latitud x longitud, en el período 1950-1992 y los provenientes del Climate Prediction Center (CPC) en el período 1993-1997. El conjunto de datos mensuales de precipitación fue obtenido de la Red Pluviométrica Nacional de Venezuela perteneciente a la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, seleccionando 129 estaciones con un período comprendido, entre 1951 y 1995, las cuales fueron sometidas previamente a un control de calidad y a la estimación de un 6% de datos faltantes, aplicando interpolación lineal temporal basada en el total de precipitación de los meses anteriores y meses subsecuentes.

3. METODOLOGIA

En el presente trabajo se aplicó el sistema de modelaje estadístico de los Océanos - SIMOC, desarrollado por C. Repelli en 1996. Este modelo fue creado con la finalidad de operacionalizar todos aquellos procedimientos de cálculos necesarios para la aplicación y validación del Análisis de Correlación Canónica, ACC. Además de ello, permite el acceso a la bases de datos macroclimáticas y visualización geográfica de resultados, representando por ello una valiosa herramienta para realizar estudios de diagnóstico y pronósticos en los campos de variables climatológicas. El ACC considerado como el tope jerárquico en los modelos de regresión, es un procedimiento estadístico multivariante, mediante el cual se logra optimizar las combinaciones lineales de las variables de un campo predictor que explican la mayor varianza en otro conjunto de variables dependientes. En este sentido el método ha sido utilizado ampliamente en Climatología (Barnett y Preisendorfer, 1987; Barnston y Ropelewski, 1991; Repelli, 1996) y además como una técnica estadística efectiva para fines de pronóstico. Con la finalidad de determinar la relación existente entre las anomalías de precipitación durante la temporada de lluvias en Venezuela y las anomalías de temperaturas sobre el nivel del mar registradas en los Océanos Atlántico y Pacífico, se definió como campo predictor el conformado por las mediciones de la SST y como campo dependiente el formado por los datos de precipitación, en el período comprendido entre 1951 y1995. De esta manera se procedió a diseñar tres grandes experimentos: a.)Océano Atlántico (30N - 30S; 80W - 0 W); b.)Océano Pacífico(30°N -30°S; 80° - 160°W) y c.)Océanos: Atlántico - Pacífico (30°N - 30°S;160°W - 0°W), en varios meses de retardo (lags) en la precipitación desde febrero hasta agosto, a fin de determinar el mes donde el campo predictor registrado en los meses de: enero, febrero, marzo, abril y mayo, presentara mayor influencia en el campo de dependiente, de la forma como se observa en la tabla1.

PREDICTOR	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
PREDICTANT.					
FEB	X				
MAR	X	X			
ABR	X	X	X		
MAYO	X	X	X	X	
JUN	X	X	X	X	X
JULIO	X	X	X	X	X
AGOSTO	X	X	X	X	X
ABR/MAY	X	X	X	X	X
ABR/MAY/JUN	X	X	X	X	X
MAY/JUN/JUL	X	X	X	X	X
JUN/JUL/AGO	X	X	X	X	X
ABR/MAY/JUN/JUL	X	X	X	X	X

Tabla 1. Lags de pruebas.

Posteriormente, cada conjunto de datos fue sujeto a un análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (FOE) con la finalidad de eliminar las inestabilidades y ruidos existentes tanto en el campo predictor como en el campo dependiente, optimizando de esta manera la solución de maximización dada en el ACC. Al aplicar FOE, se indicó en cada experimento, que el número de componentes (modos) retenidos explicasen el 80% de la varianza contenida en los campos definidos, para luego resolver el problema de correlación canónica. En esta etapa exploratoria se trabajó con el período 1951-1980. Para seleccionar el campo predictor con mayor impacto en las anomalías de precipitación en la temporada de lluvia, se consideró aquel experimento dentro de todas las pruebas realizadas, donde se explicara el 80% de varianza con el menor número de modos y en el primer componente del campo predictor se explicara el mayor porcentaje de varianza. Además de ello, se comparó el valor de la fracción cuadrada acumulada de covarianza (CSCF), la cual indica que tan bueno ha sido el método para explicar la matriz de covarianza observada entre los campos usando los n modos seleccionados

(Bretherton,Smith; 1992). El objetivo siguiente fue determinar el lag más representativo y región de mayor influencia sobre el patrón de precipitación, para lo cual se analizó en los diferentes lags, el porcentaje de estaciones pluviométricas que presentaran una correlación significativa mayor o igual al valor absoluto de 0.4 con el campo predictor en el mes seleccionado. Por último, se validó el modelo de pronóstico para el período comprendido entre 1981 y 1995, con un modelo de regresión múltiple cuyos parámetros, fueron definidos por los coeficientes de los componentes canónicos calculados.

4.- RESULTADOS

Una vez que fueron calculados los estadísticos básicos (promedio y desviación estándar), las anomalías normalizadas y eliminado el ruido en los datos, en cada uno de los experimentos se obtuvo el número de modos retenidos para explicar el 80 % de varianza tanto en el campo predictor como en el campo dependiente. El primer componente canónico, en el campo predictor, de cada uno de los experimentos, fue considerado como el factor de incidencia del área en el mes de predicción seleccionado. De esta manera, según la metodología antes expuesta para seleccionar el campo y mes predictor, se pudo observar (tabla 2), la ponderación (varianza en número de modos) que representaba el área del Océano Atlántico, en el mes de marzo, y la del Océano Pacífico en el mes de enero, con respecto a las otras pruebas realizadas.

Predictor	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
	MOD	VAR	MOD	VAR	MOD	VAR	MOD	VAR	MOD	VAR
PACIFICO	9	35.5	11	30.9	11	28.7	11	29.7	11	29.3
ATLANTICO	9	22.61	9	23.1	8	30.5	8	28.6	9	26.5
ATLANTICO- PACIFICO	12	25.81	12	23.8	12	24.1	12	24.3	13	22.7

Tabla 2 . Campo y mes predictor

A partir de estos resultados, se observó que para el mes de marzo y con un lag de un mes (fig 1) existe un 62% de estaciones cuyas anomalías de precipitación promedio registrada durante los meses abril, mayo, junio y julio (a_j), están más correlacionadas con la situación que tiene lugar en el Océano Atlántico. Igual situación se refleja considerando el período comprendido entre abril y junio (amj), que define el primer trimestre de la temporada de lluvias, para la mayor parte del territorio nacional con un régimen de precipitación unimodal (máximo en Junio), afectada directamente por la actividad de la Convergencia Tropical. Además, se destaca la poca incidencia que tienen el Pacífico (menor al 25%) o el efecto combinado de ambos océanos durante estos meses.

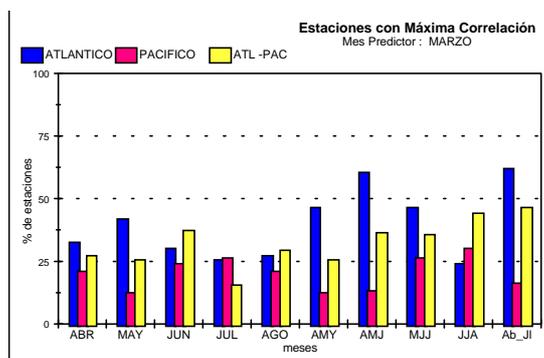


Fig. 1. Porcentaje de estaciones de mayor Correlación. Mes: Marzo

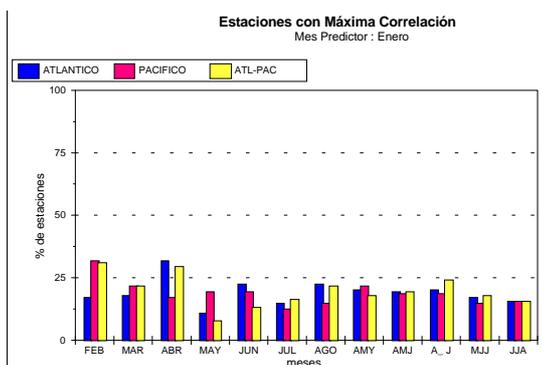


Fig.2. Porcentaje de estaciones de mayor correlación. Mes : Enero

Al considerar el mes de enero, como posible predictor (Fig.2) observamos que menos del 35% de las estaciones pluviométricas estarían correlacionadas significativamente con las SST registradas en cada uno de los campos predictores definidos. La mayor incidencia de un 32 %, tiene lugar en el mes de febrero, lo que indica la posible influencia de las anomalías de temperatura en el Pacífico sobre el territorio nacional en aquellas áreas con un patrón semianual y que durante el curso del año completan dos oscilaciones entre lluvioso y seco. En las Figura 3 se muestran las áreas de mayor influencia del Atlántico en el mes de marzo en relación al período de lluvias entre abril a julio, presentando mayor correlación con las regiones Centro-Norte y Oriental del país (Fig.4). Así mismo, en la Fig.5 se observa el patrón de la SST del Océano Pacífico, en el mes de enero, que tiene mayor influencia sobre el campo de la precipitación en el mes de febrero, y espacialmente (Fig.6) se presenta mayor correlación en la región occidente de Venezuela.

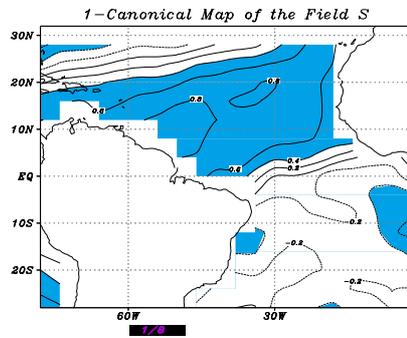


Fig.3 Area de Influencia del Atlántico(mapa g)

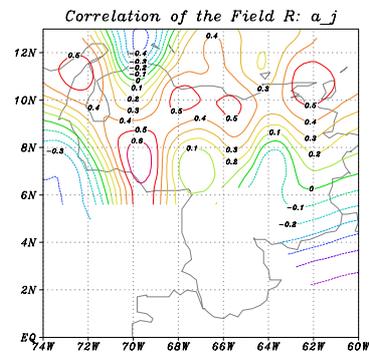


Fig.4 Area de Incidencia en Venezuela

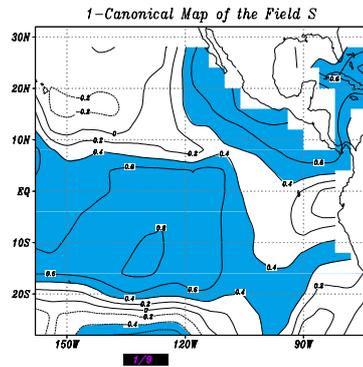


Fig.5 Area de Influencia del Pacífico (mapa g)

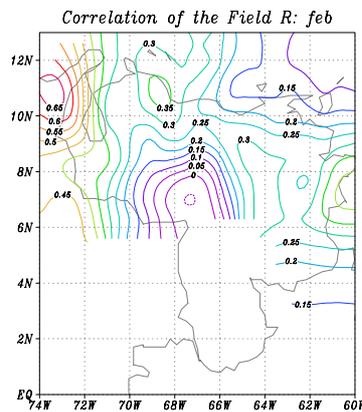


Fig.6 Area de Incidencia en Venezuela

Al verificar el modelo para el área del Océano Atlántico, en el mes de marzo, con los valores observados en período abril /mayo /junio y julio, se obtuvo una correlación de 0.97 para el primer canónico temporal $u(t)$ y un 0.87 para el segundo componente $v(t)$, con CSCF igual a 0.92. Estos resultados muestran que el modelo presentó un buen ajuste al estimar los valores durante la temporada de lluvias tanto en las regiones Centro-Norte y Oriental del país, afectadas de mayor manera por el Atlántico. Con respecto al Océano Pacífico, en el mes de enero, en relación a las anomalías de precipitación observadas para el mes de febrero, las componentes canónicas temporales (u y v) asociadas al experimento mostraron una correlación de 0.92 y 0.89 respectivamente, y la CFSC presentó un valor igual a 0.85. De esta manera podemos afirmar que el modelo puede ser usado para estimar los valores de la primera temporada de lluvias que tiene lugar en la región Occidental del territorio nacional.

6.-CONCLUSIONES

- Los resultados mostraron diferencia entre la posible incidencia que tienen los patrones de SST en el Océano Atlántico y Pacífico sobre los regímenes de precipitación de mayor ocurrencia registrados en Venezuela.
- Se observó que el área del Atlántico Norte Tropical puede ser considerado como el principal factor de influencia en las anomalías de precipitación registradas en el período comprendido entre abril y julio, lo que confirma los trabajos realizados a escala regional realizados por Hastenrath (1986) y más recientemente por Enfield (1997)
- La región de Venezuela sobre la que más incide el patrón de anomalías de temperaturas observado en el Océano Pacífico, está ubicada en el área adyacente a la vertiente oeste de la Cordillera de Los Andes, entre los 71 y 74 grados de longitud oeste.
- Tanto en el Océano Atlántico como el Pacífico, el modelo presentó un buen ajuste, por lo que ambos casos podría ser utilizado como una herramienta eficiente de pronóstico, para las diferentes regiones del país.

AGRADECIMIENTO.

El primer autor agradece al Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos, CPTEC, por la colaboración prestada en la realización del presente trabajo. Este trabajo fue financiado por Instituto Interamericano de Cambios Globales, IAI, a través del Programa de Actividades de Cooperación regional en Apoyo a la Investigación sobre Cambio Global en los países del IAI. Proyecto: IAI-WMO-GEF-RLA/92/G34.

REFERENCIAS

- Bretherton C., Smith Catherine, and Wallace, 1992: An Intercomparison of Methods for finding Coupled patterns in Climate Data. *J. Climate*, 5, 541- 552
- Enfield D. , 1996 Relations of Inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability, *Geophys. Res.Lett.*, 23, 3505-3508,1996
- Enfiel D. and Alfaro E., 1997: The Dependence of Caribbean Rainfall on the Interaction of the Tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*.
- Hastenrath S., 1978 : On modes of tropical Circulation and Climate Anomalies. *J.Atmos. Sci.*, 35, 222 -2231,1978.
- Hastenrath S.,1984: Interannual Variability and Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the tropical Atlantic Sector. *Mon.Wea.Rev.*, 112, 1097-1106.\
- Repelli C., 1995: Use of Canonical Correlation Analysis to predict the Spatial and Temporal Rainfall Variabilities over Northesat Brasil. FUNCEME, Brasil
- Ubarana, V., 1996 : Adaptación del Sistema de Modelaje Estadístico -SIMOC- para el pronóstico de anomalías de precipitación para la Región Norte del Nor-Este del Brasil. CPTEC- Brasil