

ANÁLISIS DE PATRONES CLIMÁTICOS DE EVENTOS ENSO MEDIANTE CADENAS DE MARKOV Y MODELOS DE GRAFOS

Córdoba, K. ¹, Delgado, L. ², Palacios, J.L. ¹, Aguilar, V.H. ³

¹ Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Facultad de Humanidades y Educación; ² Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela (UCV), ³ Centro de Estadística y Software Matemático, CESMA-Universidad Simón Bolívar (USB)

Recibido: 28-04-2009

Resumen. El estudio de la variabilidad climática es uno de los elementos más relevantes de los estudios climatológicos en los últimos tiempos. La variabilidad del clima se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. Esta puede deberse a procesos naturales internos, o al forzamiento externo natural o antropogénico. Debido a la aceleración en los cambios macro-climáticos y ambientales, estos estudios de variabilidad han tomado mayor énfasis. Uno de los procedimientos que permiten aproximarnos, a la evaluación de estos fenómenos, son las cadenas de Markov y la teoría de grafos. El fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) se puede pensar como una cadena de Markov que fluctúa entre tres estados, frío, neutro y caliente, de acuerdo a ciertas probabilidades de transición entre los estados. En este artículo se presentan los grafos y los valores de las probabilidades de transición del índice BEST ENSO, para cada una de las últimas cinco décadas consideradas 1950-2006. Se hace un breve análisis de las posibles causas de las discrepancias entre los cinco grafos obtenidos. **Palabras claves:** variabilidad climática, ENSO, Cadenas de Markov.

CLIMATIC ANALYSIS OF ENSO EVENTS PATTERNS THROUGH MARKOV CHAINS AND GRAPH MODELS

Abstract. The study of climate variability is one of the most important elements of the climatological studies in recent times. The climate variability refers to changes in weather averages and other statistics of the climate (such as standard deviations, extreme events, etc.), in all temporal and spatial scales that extend beyond the scale of a meteorological phenomenon in particular. The variability can result from natural processes that occur internally within the climate system (internal variability), or forcing changes in the external natural and anthropogenic (external variability). In recent years, due to macro-climatic and environmental changes occurring worldwide as a result of anthropogenic interventions, these studies of variability, have taken great emphasis. One of the procedures to approach to the evaluation of these phenomena, are Markov chains and Graph theory. The ENSO (El Niño Southern Oscillation) phenomenon can be thought of as a Markov chain which fluctuates between three states, cold, hot and neutral, according to certain probability of transition between states. This article presents the transition probabilities of estimated by monthly BEST ENSO index, in each of the last five decades considered, 1950-2006. It is presented also a brief analysis of the possible causes of discrepancies among the five graphs developed. **Keywords:** climate variability, ENSO, Markov chains.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial en las últimas décadas está ocurriendo una aceleración de los cambios macro-climáticos y ambientales ^{3,7}. Estos procesos tienen una gran repercusión sobre la dinámica de los sistemas naturales, sobre todo de aquellos componentes vinculados con el ser humano y su calidad de vida ^{1,2,4}. Una forma de análisis de estos cambios, que presentan transiciones de uno a otro estado del sistema, se ha realizado a través de una formalización matemática-estadística, como las cadenas de Markov y la representación gráfica utilizando la teoría de grafos ⁵. Nuestra estrategia de estudio será el análisis del fenómeno meteorológico de El Niño (ENSO), como una cadena de Markov que presenta tres estados o fases, cálida, fría y neutra.

Las cadenas de Markov son modelos estocásticos que permiten estudiar series históricas de datos climáticos. A través de esta técnica es posible establecer las relaciones entre un evento anterior, o precedente y el siguiente ^{6,11,12}. Los indicadores de variabilidad climática como el *Índice de Oscilación Sur- IOS*, o *SOI* en Inglés, el *SST- Sea Surface temperature*, y el *BEST ENSO index*, o *Bivariate ENSO Timeseries Index* ⁸ entre otros, contienen un registro histórico de la evolución de los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation -El Niño Oscilación Sur),

considerados como las oscilaciones anómalas en los valores de presión y temperatura superficial de las aguas del pacífico ecuatorial, donde es posible visualizar diferentes fases o estados del mismo fenómeno climático. De acuerdo al Centro de Predicciones Climatológicas de la NOAA-CPC, la fase cálida se presenta cuando las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico Ecuatorial, registran anomalías superiores o iguales a + 0.5 °C, para el área de ocurrencia del evento ENSO 2+1, 3 y 3+4 (Figura1).

La fase fría, corresponde al estado inverso, cuando los valores de las anomalías de la temperatura son iguales o inferiores a -0,5°C y una fase neutra o condición normal, cuando no se evidencia en los registros ninguna alteración.

El índice BEST (*Bivariate ENSO Timeseries*) fue diseñado, para proveer una serie histórica larga de los eventos ENSO. Combinando los valores del SOI, con los registros de temperatura del SST en la región de «El Niño 3.4'», en el pacífico ecuatorial, se integran los procesos atmosféricos y oceánicos en un solo indicador. Con el fin de observar las anomalías climáticas en el cálculo del índice, la media mensual climatológica para el período 1898-2000 se remueve para todos los datos. Seguidamente, los valores son normalizados por mes a

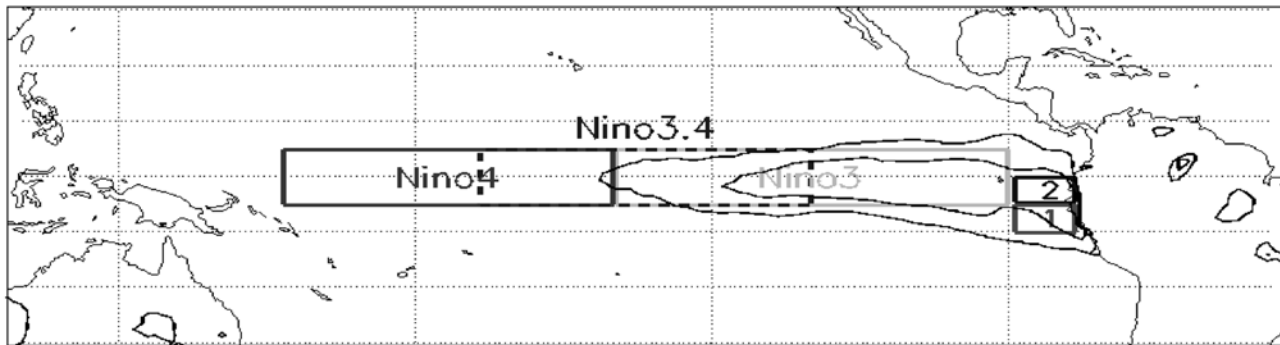


Figura 1. Regiones ENSO.

fin de que cada mes tenga una media de 0 y una desviación estándar de 1,0 para todos los años durante el período de estudio. Los valores resultantes de temperatura SST y presión SOI se promedian con los valores para cada mes de las series temporales y posteriormente, se aplica una media móvil, bien sea de 3 o 5 meses a las series de tiempo ¹⁰.

Al observar la series históricas del BEST- *Bivariate ENSO Timeseries index* y analizar su variabilidad por décadas es posible apreciar, las transiciones entre las diferentes fases del evento. En algunos casos, la transición entre las distintas fases de los eventos ENSO (fases cálidas, frías y neutras), se produce de manera gradual, es decir una elevación o disminución progresiva de los valores en las temperaturas superficiales del mar, lo que se deduce al observar como evolucionan los valores del indicador.

La fase neutra puede considerarse como el estado inicial de las transiciones, pasando de neutro a cálido o de neutro a fría, y regresando de nuevo a la fase neutra precedente. Al analizar estas transiciones o cambios de estado por décadas, es posible observar importantes diferencias. Se presentan cambios en la forma como se alternan las transiciones, pasando en algunos casos de las fases cálidas a frías o viceversa sin transitar por un estado neutro. Es posible que los cambios climáticos globales estén contribuyendo con la aparición o desaparición de las conexiones las distintas fases.

El objetivo de este estudio es evidenciar el comportamiento de la variabilidad climática y sus cambios de estado, a través del análisis con cadenas de Markov y teoría de grafos, que contribuya facilitar la visualización y comprensión de la dinámica de los eventos ENSO y sus posibles conexiones con el cambio climático, en una serie histórica de datos del índice BEST ENSO, en el período 1948 hasta Abril 2006.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos del índice de variabilidad de climática del BEST ENSO Index, (Bivariate ENSO Timeseries) fueron obtenidos de los registros publicados por la Earth System Research Laboratory-NOAA ⁸, correspondientes de las anomalías de El Niño región 3+4 (Figura1), desde 1948 hasta Abril 2006 ¹⁰. Estos datos fueron agrupados de acuerdo a las diferentes fases, neutra, cálida y fría de los

eventos ENSO. Luego se procedió al cálculo de los coeficientes de transición entre las fases para elaborar el modelo de Markov a partir de las matrices de frecuencia de las fases ⁹. Estos coeficientes se calcularon tanto para la serie completa de los datos, como para las diferentes décadas. Esta metodología, nos permite establecer la frecuencia e intensidad de las transiciones, para los diferentes cambios de estado, referidos en este caso, a las fases cálidas, (El Niño) frías (La Niña) y neutras de los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation).

Las cifras en el marco referencial ENSO se modelan como una cadena de Markov de tres estados, neutro (=1), frío (=2) y cálido (=3), de acuerdo a si el valor tomado está, respectivamente, dentro de los intervalos $[-0.5, 0.5]$, $(-\infty, -0.5)$ y $(0.5, \infty)$, los rangos de variabilidad para los valores observados del indicador BEST ENSO index, en el período. Se poseen lecturas para todos los meses de los años desde 1948 a abril del 2006 para un total de 701 lecturas, y por tanto 700 transiciones. Una preocupación inicial se genera, cuando se quiere saber si esta cadena de Markov es homogénea en el tiempo, es decir, si las probabilidades de transición de un estado a otro no dependen del tiempo. Como se demuestra por medio de una prueba de regresión simple, los datos son estocásticos, es decir no presentan relación con el tiempo ($R^2 = 0,05$, $t = 1,825301444$, $p = 0,07319639$).

Al inspeccionar los valores por columna (es decir, mes a mes) encontramos que las frecuencias de los valores neutros, fríos y calidos son:

Mes	Neutros.	Fríos.	Calidos.
Enero	25	14	19
Febrero	22	18	18
Marzo	26	15	17
Abril	29	12	17
Mayo	22	15	21
Junio	26	14	18
Julio	25	15	18
Agosto	25	13	20
Septiembre	23	16	19
Octubre	25	20	16
Noviembre	26	16	16
Diciembre	24	15	19

No parece haber una influencia estacional en las frecuencias relativas y en promedio se espera que a lo largo de los 58 años completos estudiados, cada mes sea 25 veces neutro, 15 veces frío y 18 veces calido. En primer lugar se consideran las frecuencias de transición de unos estados a otros para estimar las probabilidades de transición. Las frecuencias observadas en forma matricial son las siguientes (p_{ij}):

$$P = (p_{ij}) = \begin{pmatrix} 206 & 43 & 48 \\ 43 & 140 & 4 \\ 52 & 4 & 160 \end{pmatrix},$$

Para el cálculo de las probabilidades de transición en cada caso, por ejemplo, para $p_{11} = 206$, significa que se observaron 206 transiciones del estado neutro a si mismo, por lo tanto la probabilidad de transición se estima como (f.1):

$$\frac{206}{206 + 43 + 48} \approx .69.$$

De acuerdo con ello, los estimados para las probabilidades de transición del periodo son (p_0):

$$\begin{pmatrix} .69 & .14 & .16 \\ .23 & .75 & .02 \\ .24 & .02 & .74 \end{pmatrix}.$$

Otra inspección para verificar la homogeneidad en el tiempo, nos lleva a considerar los valores de los estimados de las probabilidades de transición década a década. En ese sentido obtenemos las siguientes seis matrices, para las décadas del 50 (P^1), 60 (P^2) 70 (P^3), 80 (P^4), 90 (P^5) y 2000 (P^6) respectivamente:

$$P^{(1)} = \begin{pmatrix} .66 & .15 & .19 \\ .16 & .84 & 0 \\ .30 & .04 & .65 \end{pmatrix},$$

$$P^{(2)} = \begin{pmatrix} .84 & .08 & .08 \\ .40 & .60 & 0 \\ .25 & 0 & .75 \end{pmatrix},$$

$$P^{(3)} = \begin{pmatrix} .54 & .22 & .24 \\ .17 & .83 & 0 \\ .29 & 0 & .71 \end{pmatrix},$$

$$P^{(4)} = \begin{pmatrix} .75 & .15 & .10 \\ .60 & .40 & 0 \\ .19 & 0 & .81 \end{pmatrix},$$

$$P^{(5)} = \begin{pmatrix} .68 & .15 & .17 \\ .29 & .71 & 0 \\ .18 & 0 & .82 \end{pmatrix},$$

$$P^{(6)} = \begin{pmatrix} .43 & .21 & .36 \\ .13 & .77 & .10 \\ .33 & .09 & .58 \end{pmatrix}.$$

Al analizar las matrices decadales, se observan ciertas fluctuaciones con respecto a la matriz P , sin embargo, estas fluctuaciones parecen razonables, dado a que no son grandes los valores de las frecuencias con las que se aproximan las probabilidades de transición para una década; por lo que se acepta la homogeneidad de las probabilidades de transición, y a P como la matriz de las transiciones del periodo de estudio (1948-abril 2006). En primer lugar se consideran entonces las frecuencias de transición de unos estados a otros para estimar las probabilidades de transición, para luego representar los estimados para las probabilidades de transición con la técnica de grafos. Esta técnica constituye una manera de facilitar la comprensión de los resultados obtenidos con las cadenas de Markov en los análisis de variabilidad, mediante la misma, se representan los resultados obtenidos en las matrices de transición y sus vínculos, con vectores de flujos. Estos vectores de flujo indican la magnitud y la intensidad de las transiciones entre estados. Mediante la aplicación de estos grafos, se describen los diferentes comportamientos de estos eventos climatológicos, para las distintas décadas analizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De modo general se puede afirmar, que la mayor probabilidad de ocurrencia observada en las transiciones, es de un estado a sí mismo, (auto-lazos), esto indica que eventos tienen mayor probabilidad de repetirse, que de pasar a otra fase de forma global. Por ejemplo; en el grafo de las transiciones totales, es decir en el grafo de las transiciones para todo el periodo observado (Figura 2), la mayor ocurrencia de cambios de estado se verifica entre las fases frías del fenómeno ENSO (0.75), seguida de la probabilidad de ocurrencia de transiciones entre fases cálidas (0.74) y por último la ocurrencia de transiciones entre fases neutras (0.69).

Los vectores de flujo que indican los cambios entre fases, (Figura 2) muestran que la mayor ocurrencia de cambios de estado se verifica de las fases cálidas a neutras (0.16) y en proporción similar de las fases frías a neutras, (0.14) en sentido inverso las transiciones desde la fase neutra a cálida representan (0.24) y de la fase neutra a fría (0.23). Los cambios de estados directos entre las fases cálidas y frías sin pasar por un estado neutro representan la menor proporción (0.02). Por lo tanto podemos afirmar que los eventos cálidos y fríos tienen una probabilidad similar de pasar a la fase neutra

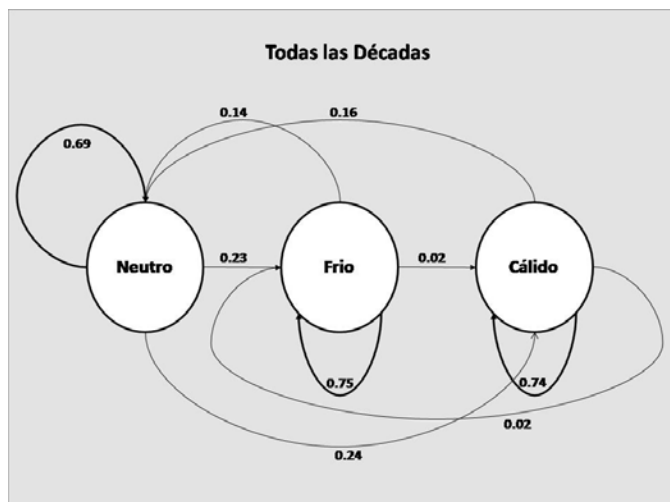


Figura 2. Grafo Representativo de las transiciones totales.
Fuente: Bases Datos Proyecto Hidroclimático.

semejante, al igual que en sentido contrario. De la misma forma, la probabilidad de paso directo de la fase cálida hacia la fría y viceversa es igual, como indican ambos vectores de flujo (0.02). Esta es la probabilidad de ocurrencia de cambios de estado, más baja con respecto a todo el sistema.

Cuando comenzamos a considerar cada una de las décadas (1950, 60, 70, 80, 90, 2000) por separado, se evidencian hechos interesantes. Durante la década de los 50 (Figura 3), la probabilidad de cambios de estado de una fase a sí misma se verifica entre las fases frías (0.84), seguida de las transiciones entre fases neutras (0.66) y por último entre fases cálidas (0.65). Los vectores de flujos que muestran las transiciones o cambios de fases entre los diferentes estados durante esta década, evidencian que las mayores transiciones ocurren entre los estados calidos a neutros (0.30) y de neutros a calidos nuevamente (0.19). Las transiciones o cambios de estado de fríos a neutros (0.16) y viceversa de neutros a fríos (0.15) son menos frecuentes en este periodo, lo que evidencia el sostenimiento del estado o fase fría por un

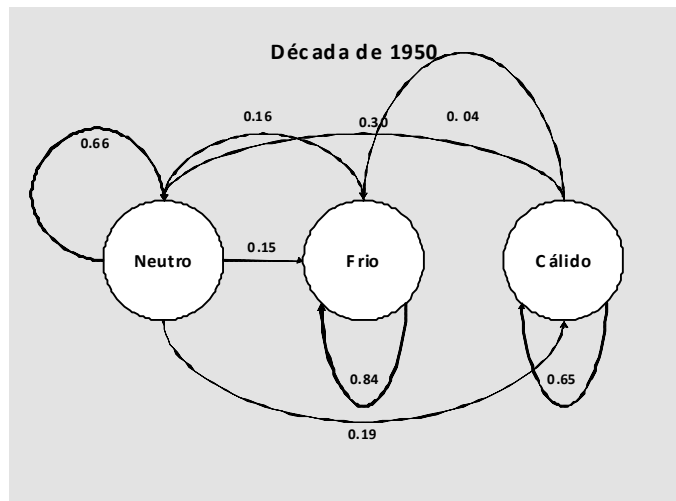


Figura 3. Grafo Representativo de la Década de los 50.
Fuente: Bases Datos Proyecto Hidroclimático.

mayor tiempo durante esta década. Los cambios de directos de fase cálida a fría sin pasar por un estado neutro representan (0.04), ello podría interpretarse como una década predominantemente fría en relación a la ocurrencia de eventos ENSO (Figura 3).

Durante las décadas del 60 (Fig.4), ocurre mayor número de transiciones entre fases cálidas (0.75) que frías (0.60), las transiciones o cambios de estado entre fases se verifican con mayor frecuencia desde fase fría a neutra (0.40), y en menor proporción de fase calida a neutra (0.25), las probabilidades de retorno de fase neutra a calida y de fase neutra a fría, representaron valores bajos de 0.08 (Figura 4). Se consideró importante enfocar el análisis más en los auto-lazos que definen el estado y la estabilidad de este estado para cada década, que en los vectores de flujo, que indican los cambios entre diferentes estados, ya que estos, ayudan a caracterizar la fase dominante de cada década en relación a los eventos ENSO. Valores altos en los vectores de flujos que indican los cambios de estado entre fases, podría interpretarse como una mayor variabilidad climática y menor estabilidad en los cambios de estado.

En la década del 70, (Figura 5) también son más importantes las transiciones entre fases frías (0.83), que los cambios registrados entre fases cálidas (0.71). Las transiciones entre fases neutras registraron valores de ocurrencia de 0.54. El mayor número de transiciones o cambios de estado entre fases, ocurre de fases calidas a neutras (0.29) y de neutras a calidas nuevamente (0.24). Los cambios de estado de fases frías a neutras (0.17) y de neutras a frías (0.22) disminuyen con relación a la década del 60, la mayor variabilidad se registra en los cambios de estados calidos a neutros y viceversa, no se verifican transiciones o cambios de estados directos entre fases calidas a frías y viceversa, en este periodo (Fig.5).

Los estados cálidos asociados a los eventos El Niño en el pacífico ecuatorial, son dominantes durante la década del 60, durante la década del 70 en cambio, predominan los estados fríos correspondientes a La Niña.

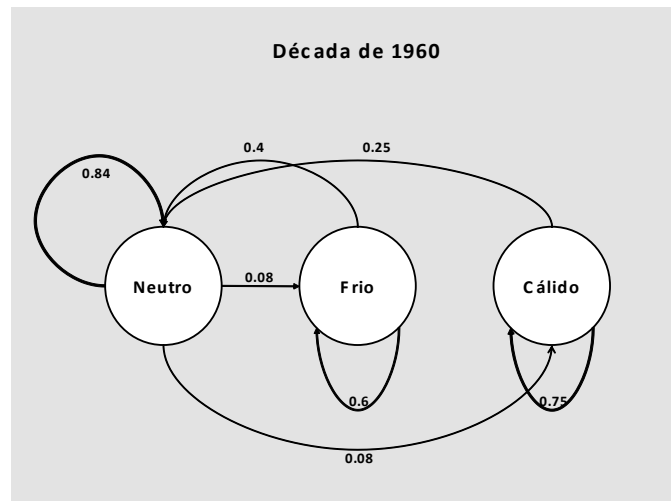


Figura 4. Grafo Representativo de la Década de los 60.
Fuente: Bases Datos Proyecto Hidroclimático.

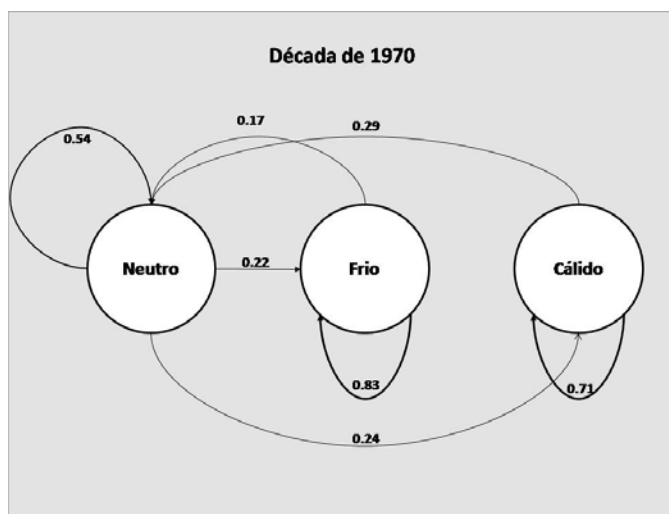


Figura 5. Grafo Representativo de la Década de los 70.
Fuente: Bases Datos Proyecto Hidroclimático.

(Figura 5). Las décadas de los 80 y 90 (Figuras 6 y 7) en cambio, presentan mayor número de transiciones cálidas que frías.

La década del 80 es predominantemente cálida, ya que la frecuencia de las transiciones entre meses cálidos (0.81) es bastante superior a la ocurrencia de transiciones entre fases frías (0.40) y neutras (0.75.) (Figura 6). El mayor número de transiciones o cambios de estados, ocurre de los estados fríos a neutros (0.60) y en menor proporción de cálidos a neutros (0.19), las transiciones de neutros a fríos (0.15) y de neutros a cálidos (0.10) presentan menor variabilidad que en la década anterior. Este caída en la frecuencia de los meses fríos, aunado al aumento de los meses cálidos indica que la década puede caracterizarse por estados cálidos, asociados a los eventos El Niño (Figura 6).

En la década del 90 (Figura 7) son mas relevantes las transiciones entre estados calidos con una probabilidad de ocurrencia de 0.82 (Figura 7), aunque también los estados fríos presentan una alta probabilidad de

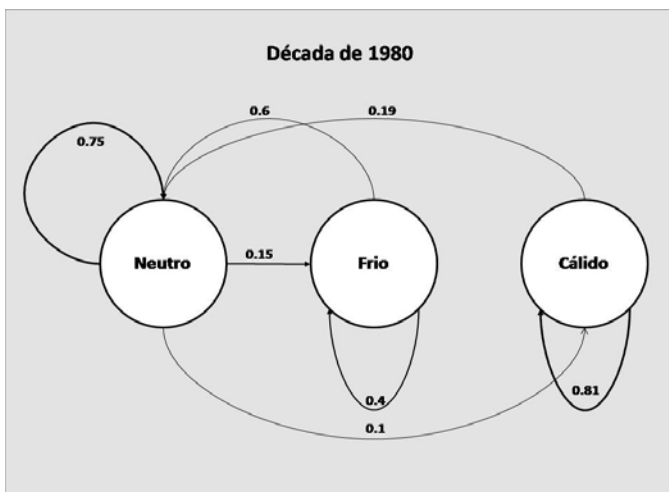


Figura 6. Grafo Representativo de la Década de los 80.
Elaboración propia.

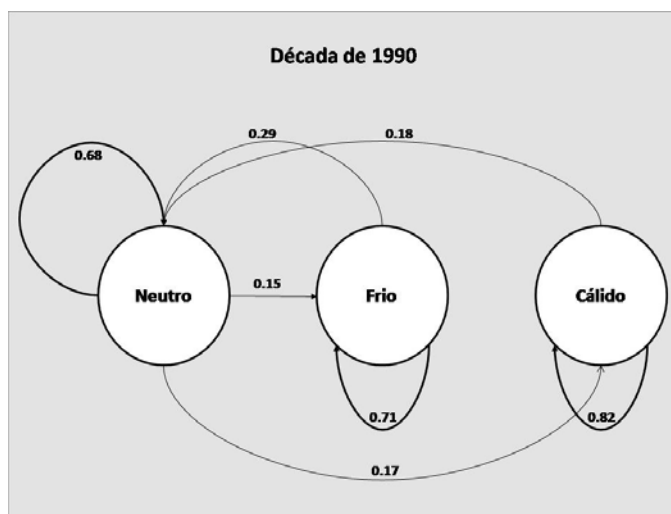


Figura 7. Grafo Representativo de la Década del 90.
Fuente: Bases Datos Proyecto Hidroclimático.

ocurrencia (0.71). A pesar de ello, las transiciones a estados fríos muestran una mayor variabilidad, como lo indican los vectores de flujo, los cambios de estado de fase fría a neutra presentan una probabilidad de ocurrencia de (0.29) y de estados calidos a neutros (0.18), ello que podría interpretarse como una menor estabilidad de ese estado o cambio de fase. Finalmente, los cambios de fases neutras a cálidas (0.17) y de neutras a frías (0.15), observan similares probabilidades de ocurrencia en esta década.

El análisis de los primeros 6 años de la década del 2000, muestra un periodo inicialmente dominado por las transiciones entre fases frías, (0.77) asociados a la presencia de la Niña en el pacifico ecuatorial. Las transiciones de estados fríos a neutros representan (0.13) y de neutros a fríos (0.21), lo que demuestra una mayor estabilidad de esta fase en este periodo, en tanto que las transiciones de estados cálidos a neutros (0.33), y viceversa de estados neutros a cálidos 0.36, muestran una alta variabilidad respecto a la década del 90. (Figura 8).

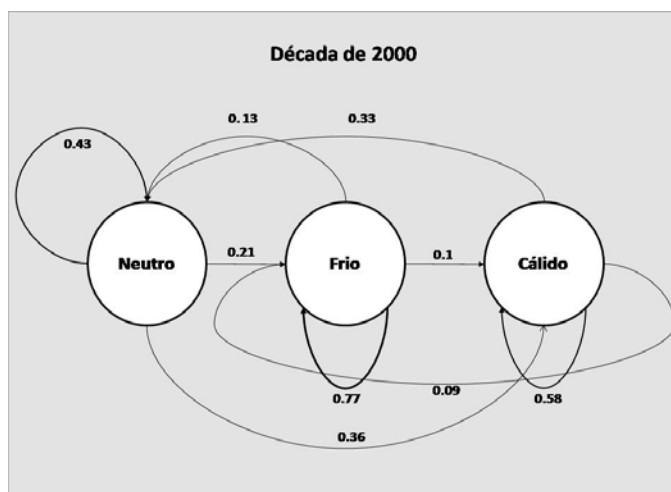


Figura 8. Grafo Representativo de la Década del 2000.
Fuente: Bases Datos Proyecto Hidroclimático

Por primera vez en 4 décadas, se observa la reconexión de las transiciones directas de fases frías a cálidas (0.10) y de cálidas a frías (0.09), evidenciando un periodo de transiciones complejas, donde se observa la reversibilidad directa de las transiciones entre fases cálidas y frías, que cambian de estado sin retornar previamente a la fase neutra o de normalidad. Ello podría explicarse por el aumento de la variabilidad climática, a consecuencia del cambio climático global reportada por el IPCC en su último informe. Tanto en esta década (2000) como en la precedente (90), se registra un aumento en la aparición de los fenómenos Niño y Niña en el pacifico ecuatorial, que han sido más frecuentes que en otras décadas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten evidenciar la utilidad de estas dos técnicas combinadas para la representación y comprensión de los fenómenos de variabilidad climática considerados en esta investigación. Durante las décadas de los 60, 70, 80 y 90 se pierde la transición directa entre los estados fríos a cálidos, observados durante la década del 50 y que reaparecen nuevamente en la década del 2000.

Estos resultados y la presencia de una transición directa de fases cálidas a frías (0.10) y de frías a cálidas (0.09) Figura 8, podrían considerarse como un indicador de los cambios climáticos globales en desarrollo. De la misma forma, se aprecia una intensificación respecto a las décadas precedentes, en el valor de las transiciones entre fases frías en la década del 2000.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto Proyecto N ° 2005000184 FONACIT «Desarrollo de un Repositorio de Datos Hidroclimáticos para la Gestión de Riesgos Epidemiológicos y Ambientales» CESMA Universidad Simón Bolívar, -Instituto de Geografía y Desarrollo Regional (IGDR), Instituto de Zoología tropical (IZT), UCV.

REFERENCIAS

1. Acevedo M. F., McGregor, K., Andressen, R., Ramírez, H., AblanM. [Relations of climate variability in Venezuela to tropical Pacific SST](#). *10th Symposium on Global Change Studies, American Meteorological Society*, 1999, preprints pp: 81-84, Annual Meeting, Dallas, TX.
2. Caviedes, C.N., Waylen, Peter. R. Respuesta del clima de América del sur a las Fases de ENSO. *Bull.Inst.fr.études andines*, 1998, **27**: 613-626.
3. Corporación Andina de Fomento-CAF. Las lecciones de El Niño: Memorias del fenómeno El Niño 1997 - 1998: Retos y propuestas para la región andina: Venezuela. Caracas, Noviembre, 2000.
4. Delgado L, Córdova K, Rodríguez A. J. Epidemiological impact of climatic variation on malaria dynamics in a northeastern region of Venezuela. *International Journal of Infection Disease*, **8**: S23-S24, 2004.

5. Gutiérrez, J.M., Cano, R., Cofiño, A.S., Sordo, C.M. Redes probabilísticas y neuronales en las ciencias atmosféricas. Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio del Medio Ambiente, ISBN 84-8320-281-6, Madrid, 2004.
6. Chen, D., Yuan, X. A. Markov model for seasonal forecast of Antarctic sea ice*. *Journal of Climate*, **17**: 3156, 2004.
7. Martelo, M. Metodología para la selección de modelos de circulación general de la atmósfera y de escenarios climáticos a incluir en la primera comunicación nacional cambio climático de Venezuela. Caracas: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Proyecto, 2003 VEN/00/G31.
8. NOAA- Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division. Climate Indices :Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. (consulta online, Marzo, 2009) <http://www.cdc.noaa.gov/data/climateindices/List/index.html>
9. Sheldon Ross, A. First Course in Probability, third edition, Macmillan, Publishing Company, New York, NY, 1988.
10. Smith, C.A., Sardeshmukh, P. The effect of ENSO on the intraseasonal variance of surface temperature in winter, *International J. of Climatology*, **20** 1543-1557, 2000.
11. Xue, Y., Leetmaa, A., M., Ji. ENSO prediction with Markov models: the impact of sea level. *Journal of Climate*, **13**: 849-871, 2000.
12. Xue, Y., Leetmaa, A. Forecasts of tropical pacific SST and sea level using a Markov model. *Geophysical Research Letters*, **27**: 2701-2704, 2000.

Correspondencia: Karenia Córdova, Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela.

Correo electrónico: karenia.cordova@ucv.ve