

# Predicción climática de la temperatura superficial del aire en Centroamérica

ERIC J. ALFARO

El sistema climático es un recurso natural fundamental para la Tierra integrado por cinco componentes: la atmósfera terrestre, los océanos, la biosfera terrestre y marina, la criosfera y la superficie terrestre (Barry y Carleton 2001). Atención particular recibe la interacción del océano con el otro componente donde vive el hombre, la atmósfera, por lo que se le estudia sistemáticamente para mejorar las predicciones del clima y mitigar desastres naturales como inundaciones y olas de calor (Chase y Barry 2003). La variabilidad climática, inherente al sistema climático, es la variación entre un número de estados climáticos de la misma clase; en otras palabras, fluctuaciones en las propiedades estadísticas sobre períodos de días, semanas, meses o años. Los eventos fuera de estos límites pueden ser vistos como anómalos a un cierto nivel de significación. Cuando los cambios en la variabilidad del sistema se mantienen a lo largo de centurias es que hablamos de cambio climático (Barry y Chorley 2003).

Lo anterior es muy importante debido a que el clima no siempre se mantiene dentro de los límites que las instituciones sociales esperan. Un evento climático extremo de baja probabilidad puede ocurrir con inusitada frecuencia e incluso repetirse en pocos años. Es entonces que estamos ante un posible desastre climático. Cuando el conocimiento sobre el clima es pobre, la preparación ante posibles eventos puede ser baja y los mecanismos de enfrentamiento inadecuados, lo que puede provocar severos costos de orden ambiental, económico y social (Naranjo 2000, Hobbs 2005).

En el trabajo cuyos resultados aquí se exponen se usó un modelo basado en el análisis de correlación canónica (Soley y Alfaro 1999, Alfaro *et al.* 2006) para explorar las asociaciones climáticas y la predictibilidad de marzo-abril-mayo como el trimestre correspondiente al máximo del ciclo anual de la temperatura superficial del aire de 337 series de tiempo en Centroamérica (Alfaro 2000, Taylor y Alfaro 2005). Se usó como variables predictoras las temperaturas superficiales del mar en los océanos Atlántico y Pacífico de 1958 a 1998 (41 años). Alfaro (2000) señala que el ciclo anual de la temperatura superficial del mar en Centroamérica se puede clasificar como tropical y predominantemente marítimo, con cambios anuales pequeños y dependiente de la cobertura nubosa y la altitud.

Para la predicción de la temperatura superficial del mar de marzo-abril-mayo se consideraron los trimestres previos de temperatura superficial del mar: desde agosto-septiembre-octubre hasta febrero-marzo-abril, junto con el trimestre simultáneo ya descrito de marzo-abril-mayo (véase la habilidad estadística promedio de estos modelos en figura 1).

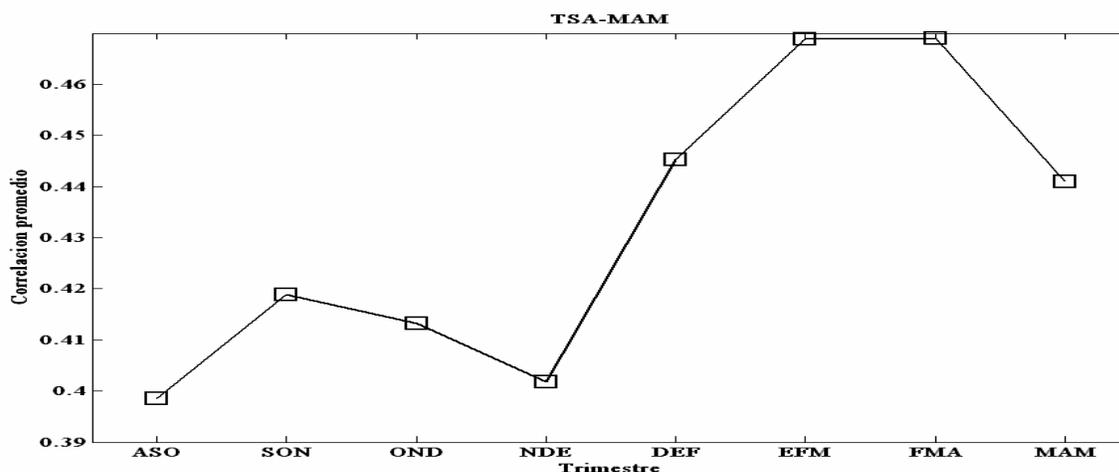


Figura 1. Habilidad estadística predictiva promedio del campo de precipitación en Centroamérica para la predicción de mar-abr-may (línea sólida con cuadros). Para la predicción de la temperatura superficial del mar de mar-abr-may, se consideraron los trimestres previos de temperatura superficial del mar desde ago-sept-oct hasta feb-mar-abr, junto con el trimestre simultáneo de mar-abr-may.

El valor más bajo de habilidad para la predicción de marzo-abril-mayo fue de 0,40, mientras que el más alto fue de 0,47, usando los trimestres de agosto-septiembre-octubre y febrero-marzo-abril como predictores, respectivamente. Se observó que la predictibilidad de marzo-abril-mayo está asociada principalmente con la variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico, siendo las temperaturas superficiales del mar del Atlántico una fuente de variabilidad secundaria (figura 2). Para este trimestre se notó que anomalías positivas (negativas) de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico Ecuatorial Este (figura 2b) están asociadas con anomalías positivas (negativas) de la temperatura superficial sobre prácticamente todo el istmo centroamericano (figura 2c). En esta región la variabilidad climática de la temperatura superficial del mar está dominada por *El Niño-Oscilación del sur*.

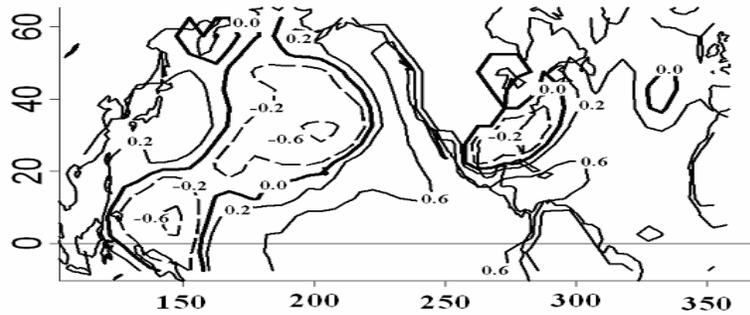


Figura 2b. Patrón espacial de correlaciones para el primer modo de la temperatura superficial del mar. El contorno más grueso es el de cero correlación. Las líneas sólidas son correlaciones positivas y las líneas a trazos son correlaciones negativas.

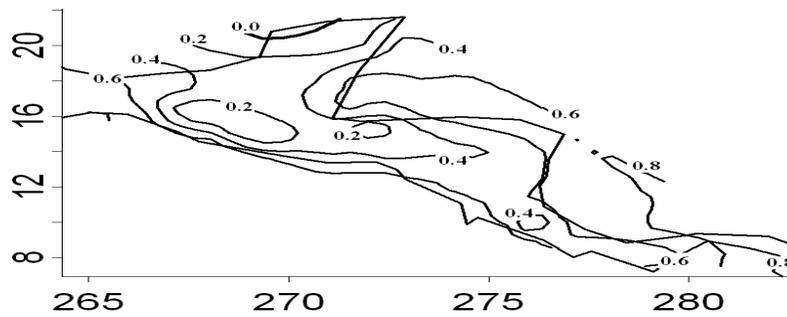


Figura 2c. Patrón espacial de correlaciones para el primer modo de la temperatura superficial del aire. El contorno más grueso es el de cero correlación.

El segundo modo del análisis de correlación canónica (figura 3) parece estar asociado con el cambio de fase de la *Oscilación decadal del Pacífico* alrededor de 1977, pero la evidencia estadística no fue lo suficientemente fuerte para sustentar esta hipótesis, por lo que se considera que capturó la tendencia presente en el sistema, que es una fuente importante de variabilidad (Alfaro *et al.* 2006).

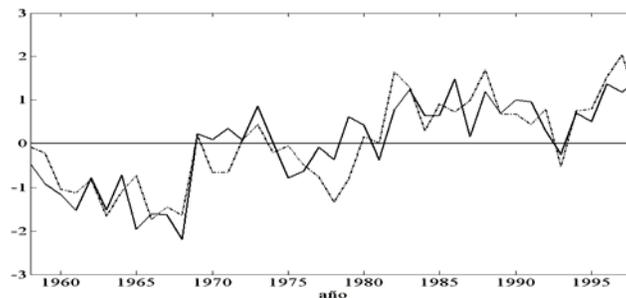


Figura 3. Series de tiempo normalizadas para los segundos modos del análisis de correlación canónica, con mar-abr-may para la temperatura superficial del aire usando la temperatura superficial del mar de dic-ene-feb. Las líneas sólidas corresponden a las series anuales de temperatura superficial del mar y las punteadas a las de temperatura superficial del aire. La correlación entre los modos es de 0,84, significativa al 95 por ciento de acuerdo con Davis (1976).

Por último, el tercer modo del análisis de correlación canónica (figura 4) estuvo influenciado más fuertemente por una especie de dipolo a través del istmo de las temperaturas superficiales del mar. Para este modo, signos opuestos de las anomalías en los océanos Atlántico y Pacífico, que circundan Centroamérica, estuvieron asociados con una notoria respuesta del campo de temperatura superficial del aire, donde anomalías positivas y negativas (negativas y positivas) de las temperaturas superficiales del mar en los océanos Pacífico y Atlántico Tropical, respectivamente, tienden a estar asociadas con lóbulos de anomalías positivas (negativas) de la temperatura superficial del aire, principalmente en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (figuras 4b y 4c).

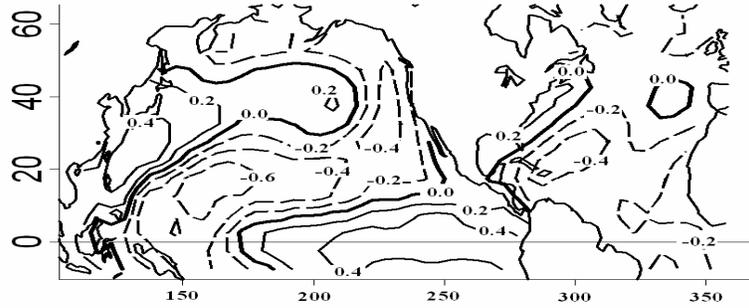


Figura 4b. Patrón espacial de correlaciones para el tercer modo de la temperatura superficial del mar. El contorno más grueso es el de cero correlación. Las líneas sólidas son correlaciones positivas y las líneas a trazos son correlaciones negativas.

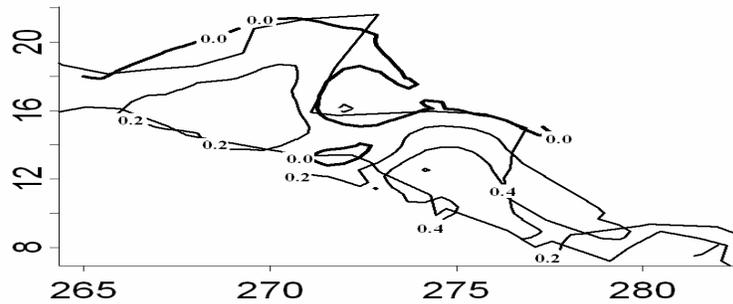


Figura 4c. Patrón espacial de correlaciones para el tercer modo de la temperatura superficial del aire. El contorno más grueso es el de cero correlación.

El primer modo (véase tabla y figura 2a, línea sólida), mostró una correlación, significativa al 99 por ciento, con el índice *El Niño 3*, mientras que el segundo modo (figura 3, línea sólida) no mostró ninguna correlación significativa con estos índices. La mejor correlación encontrada para el tercer modo (figura 4a, línea sólida) fue con la diferencia normalizada de los índices de *El Niño 3* y la *Oscilación decadal del Atlántico*, significativa al 99 por ciento. Cabe destacar que los modos superiores van mostrando patrones espaciales más desorganizados, relacionados con fuentes de variación más locales, por lo que los mismos no se muestran.

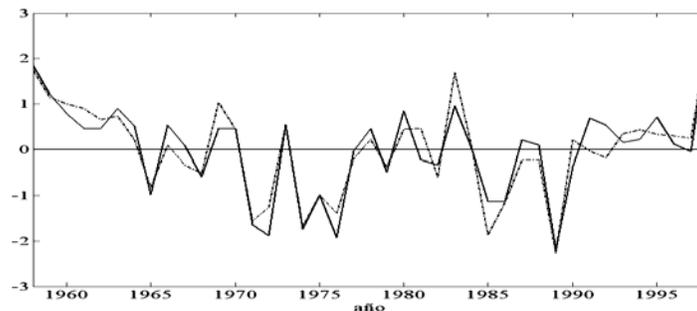


Figura 2a. Series de tiempo normalizadas para los primeros modos del análisis de correlación canónica, con mar-abr-may para la temperatura superficial del aire usando la temperatura superficial del mar de dic-ene-feb. Las líneas sólidas corresponden a las series anuales de temperatura superficial del mar y las de temperatura superficial del aire. La correlación entre los modos es de 0,93, significativa al 99 por ciento de acuerdo con Davis (1976).

Tabla 1. Correlaciones entre los tres primeros modos de temperatura superficial del mar y diferentes índices oceánicos. Las correlaciones son para las series de tiempo anuales del trimestre dic-ene-feb. La operación de suma o resta de los índices oceánicos se realiza sobre las series normalizadas para hacer comparables la variabilidad entre ellas. Se resaltan con negrita los valores máximos de cada columna. Los valores con uno y dos asteriscos son significativos al 95 y 99 por ciento de acuerdo con Davis (1976). Nomenclatura de los índices: odp = Oscilación decadal del Pacífico (Mantua et al. 1997); oma, Oscilación multidecadal del Atlántico (Enfield et al. 2001). El índice El Niño 3 corresponde a la región de 5 °S-5 °N y de 90-150 °W.

	Modos	Temp. sup. mar	Dic-ene-feb
Índices, dic-ene-feb	1	2	3
<i>ODP</i>	0,3812	<b>-0,272</b>	0,2497
<i>Oma</i>	0,6628(**)	0,0618	0,3252
<i>El Niño3</i>	<b>0,7511(**)</b>	-0,27(*)	-0,4895(**)
<i>El Niño3-oma</i>	0,0721	-0,2711	<b>-0,6656(**)</b>

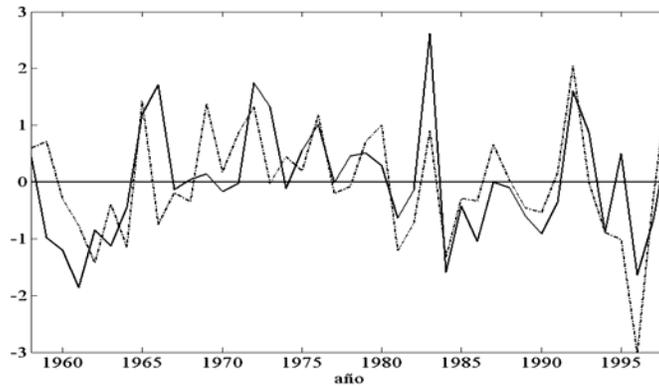


Figura 4a. Series de tiempo normalizadas para los terceros modos del análisis de correlación canónica, con mar-abr-may para la temperatura superficial del aire usando la temperatura superficial del mar de dic-ene-feb. Las líneas sólidas corresponden a las series anuales de temperatura superficial del mar y las punteadas a las de temperatura superficial del aire. La correlación entre los modos es de 0,63, significativa al 99 por ciento de acuerdo con Davis (1976).

Se realizó la validación cruzada de los resultados del modelo mostrando una habilidad predictiva estadísticamente significativa sobre un área importante de la región en estudio, exceptuando la península de Yucatán (figura 5). Por último, y como una forma de comparar los resultados obtenidos para marzo-abril-mayo con otras épocas de año, el ACC se empleó para calcular el ciclo anual de la habilidad estadística promedio en la predicción de la temperatura del aire de los modelos, usando en forma simultánea los campos de la temperatura superficial del mar y de la temperatura superficial del aire para los diferentes trimestres del año (figura 6). El valor menor fue para diciembre-enero-febrero con 0,32 y el mayor para julio-agosto-septiembre con 0,60, siendo el promedio de este ciclo anual de 0,53. Vale la pena destacar que estos valores de habilidad predictiva de la figura 6 representan el promedio sobre toda la región del predictante y que al estudiar su patrón espacial se puede encontrar regiones con habilidades predictivas mayores tal y como se observa en la figura 5.

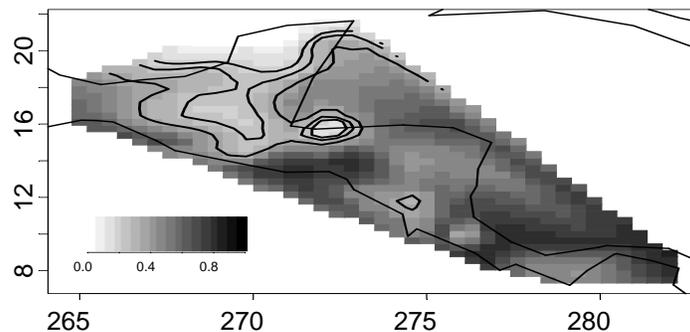


Figura 5. Patrón espacial de la habilidad estadística predictiva del campo de la temperatura superficial del aire en Centroamérica para la predicción del trimestre de mar-abr-may usando la temperatura superficial del mar en dic-ene-feb como predictor. Los valores se calcularon como la correlación entre las series de tiempo observadas y las predichas por el modelo del análisis de correlación canónica usando validación cruzada. Los contornos representan los niveles de confianza del 90, 95 y 99 por ciento en orden creciente.

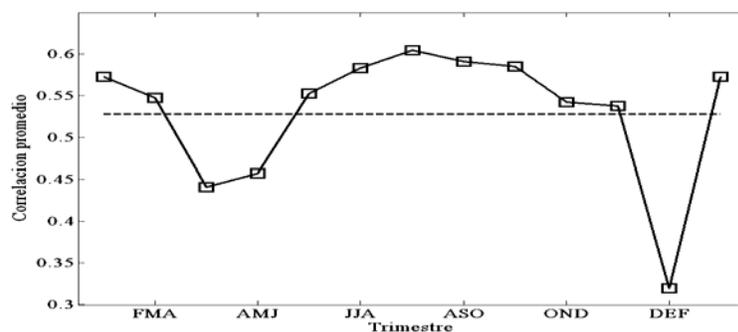


Figura 6. Ciclo anual de la habilidad estadística predictiva promedio del campo de temperatura superficial del aire en Centroamérica. Los trimestres usados en el análisis de correlación canónica para el campo de los predictores (temperatura superficial del mar) son los mismos que se consideran para el campo del predictando (temperatura superficial del aire). La línea a trazos horizontal representa el promedio de este ciclo anual (0,53).

Los resultados de este estudio son importantes dado que, según señala Alfaro (2000), muchas de las variaciones climáticas en Centroamérica, y sus impactos sobre la población humana, son producto de las variaciones no estacionales que acompañan los cambios interanuales y decadales en los océanos Atlántico y Pacífico Tropical y sus interacciones con la atmósfera suprayacente, donde eventos anómalos en la temperatura superficial del aire, principalmente los más calientes de lo normal, pueden afectar la disponibilidad del agua para su uso en agricultura, producción de energía, consumo humano y recreación. Como señaló el cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, las temperaturas aumentarán entre 1,8 y 4 grados en el año 2100 (Alley *et al.* 2007), cuando se espera que la frecuencia de días cálidos y olas de calor aumenten (Adger *et al.* 2007), lo que resalta la importancia de contar con herramientas para el pronóstico climático de la temperatura superficial del aire.

#### Referencias bibliográficas

- Adger, N. et al. 2007. *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Suiza.
- Alfaro, E. "Response of Air Surface Temperatures over Central America to Oceanic Climate Variability Indices", en *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 7(2), 2000.
- Alfaro, E., A. Gershunov y D. Cayan. "Prediction of Summer Maximum and Minimum Temperature over the Central and Western United States: The Roles of Soil Moisture and Sea Surface Temperature", en *J. Climate* 19(8), 2006.
- Alley, R. et al. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Suiza.
- Barry, R. y A. Carleton. 2001. *Synoptic and dynamic climatology.* Routledge. New York.
- Barry, R. y R. Chorley. 2003. *Atmosphere, weather and climate.* Routledge. New York.
- Chase, T. y R. Barry. "Numerical models of the general circulation, climate and weather prediction", en Barry, R. y R. Chorley (eds.). 2003. *Atmosphere, weather and climate.* Routledge. New York.
- Davis, R. E. "Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean", en *Journal of Physical Oceanography* 6, 1976.
- Enfield, D. B., A. M. Mestas-Núñez y P. J. Trimble. "The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S.", en *Geophysical Research Letters* 28, 2001.
- Hobbs, J. "Climate hazards", en Oliver, John (ed.). 2005. *Encyclopedia of World Climatology.* Netherlands.
- Mantua, N. et al. "A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production", en *Bulletin of the American Meteorological Society* 78, 1997.
- Naranjo, L. "Variabilidad interanual de los campos meteorológicos en el Caribe", en *Memorias de la VI Jornada Meteorológica. Perspectivas ante la incidencia de los fenómenos meteorológicos adversos y el impacto del cambio climático en Panamá. Escuela de Meteorología, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá, 2000.*
- Soley, F. y E. Alfaro. "Aplicación de análisis multivariado al campo de anomalías de precipitación en Centroamérica", en *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 6(2), 1999.
- Taylor, M. y E. Alfaro. "Climate of Central America and the Caribbean", en Oliver, John (ed.). 2005. *Encyclopedia of World Climatology.* Netherlands.

