Atmósfera (1999) 12, pp. 101-110

Marcha anual de la actividad convectiva en México

MIGUEL CORTEZ VAZQUEZ

Department of Geography, Graduate School of Science, University of Tokyo, Japan

(Manuscrito recibido 25 de junio, 1998; aceptado en forma final 2 de octubre, 1998)

RESUMEN

El presente estudio describe el ciclo anual de la actividad convectiva en México y las áreas marítimas vecinas con base en el análisis de valores medios para 5 días de radiación de onda larga (RSOL). Los resultados muestran que el establecimiento de la actividad convectiva en México tiene lugar en dos fases. La primera es concurrente con el inicio de la estación de lluvias en América Central y sur de México a mediados de mayo. La segunda se presenta un mes después y corresponde al establecimiento de la estación húmeda en el noroeste de México, sobre el área de influencia del denominado monzón mexicano.

ABSTRACT

Based on 5-day mean OLR analysis the present study describes the annual cycle of the convective activity over Mexico and the surrounding maritime environs. Results show that the onset of the rainy season in the study region occurs in two phases. The first is concurrent with the onset of the rainy season in Central America and Southern Mexico at the mid-May. The second takes place one month later and corresponds to the establishment of the wet season over the region under the influence of the so-called Mexican monsoon.

1. Introducción

Dos aspectos caracterizan las investigaciones previas relacionadas con la distribución anual de la precipitación en México y sus mecanismos de control:

- (a) el uso de valores medios mensuales (Page, 1929; Wallén, 1955, 1956; García, 1969; Mosiño y García, 1974, 1989).
- (b) Los trabajos recientes centran su atención en fenómenos de escala regional y temporal, notablemente el denominado monzón mexicano (Douglas et al., 1993; Schmitz and Mullen, 1996; Stensrud et al., 1995; 1997).

Por otro lado, estudios recientes relacionados con el proceso de transición estacional de la actividad convectiva en los trópicos, muestran que los análisis de valores medios para 5 y 10 días permiten una resolución temporal más satisfactoria que los valores medios mensuales (Horel et al., 1989; Wang, 1994). Este tipo de estudios son necesarios en México, debido a que gran parte del país se caracteriza por presentar un régimen de precipitación estacional, con lluvias predominantemente de tipo convectivo (Wallén, 1955; Mosiño y García, 1974).

El presente estudio tiene un doble propósito; establecer las fechas de inicio y retiro de la estación de lluvias y dar una descripción comprensiva del ciclo anual de la actividad convectiva en México, incluyendo la región continental y las áreas marítimas vecinas. A lo largo del trabajo se da énfasis al proceso de transición estacional con una resolución temporal menor a un mes. Para lograr este objetivo, la estrategia es el análisis de valores medios para 5 días de radiación saliente de onda larga (en adelante abreviada como RSOL).

2. Base de datos y método de análisis

En este estudio se utiliza una base de datos de RSOL derivada de las observaciones de satélites de órbita polar de la NOAA, para el periodo comprendido entre 1975 a 1987, excepto 1978. Esta base de datos ha sido ampliamente utilizada en análisis de la actividad convectiva en las regiones tropicales a escala global (Matsumoto, 1989; Wang, 1994) y regional (Horel *et al.*, 1989), y es de gran utilidad, pues cubre tanto las regiones continentales como marítimas. Las dos observaciones diarias, una matutina y otra nocturna, fueron promediadas para obtener un valor medio diario, el cual a su vez se promedió para obtener pentadas o periodos de 5 días, con lo que el año quedó dividido en 73 pentadas (ver Tabla 1 para el número de pentada y la fecha correspondiente). Este procedimiento permite remover los efectos de la oscilación diurna y la influencia de los sistemas atmosféricos de escala sinóptica. Adicionalmente se aplicó a la base de datos un filtro 1-2-1 con el fin de reducir posibles inconsistencias debidas al periodo relativamente corto de observaciones.

Como se sabe, los valores de RSOL representan una medida integral de los efectos radiativos de la superficie terrestre, las nubes y los gases presentes en la atmósfera. En condiciones de cielo despejado, el radiómetro monitorea la radiación de onda larga emitida principalmente por la superficie terrestre. En el caso de las nubes, cuando éstas alcanzan un gran desarrollo vertical, los sensores miden la radiación emitida por sus bordes superiores que presentan bajas temperaturas y por lo tanto bajos valores de RSOL. Morrissey (1986) y Motell y Weare (1987), han demostrado que valores de RSOL se pueden utilizar, aunque con un margen de error, para estimar cuantitativamente la precipitación en regiones tropicales.

Resultados de trabajos previos muestran que valores medios de RSOL inferiores a $240 Wm^{-2}$, corresponden cualitativamente con regiones de convección profunda y precipitación (Murakami and Nakazawa, 1985; Rasmusson *et al.*, 1988; Matsumoto, 1989; Murakami and Matsumoto, 1994). Wang (1994) encuentra que las regiones con valores medios mensuales de $240 Wm^{-2}$ equivalen a 210mm de precipitación. Este criterio es aplicado aquí como un umbral entre fuerte y débil convección. Con el fin de describir el ciclo anual se obtuvieron mapas de valores medios para 5 días de RSOL. Adicionalmente, para una mejor comprensión de los cambios estacionales, fueron elaborados cortes temporales

Para determinar el inicio y retiro de la estación de lluvias se aplicó el siguiente criterio. La fase de inicio se caracteriza por presentar:

(a) valores medios de RSOL $\leq 240 \text{ Wm}^{-2}$.

(b) los 2 meses previos con RSOL > 240 Wm⁻², y

(c) los 2 meses posteriores con RSOL $\leq 240 \text{ Wm}^{-2}$.

La fase de inicio se caracteriza por presentar:

(a) valores medios de RSOL > 240 Wm^{-2} ,

(b) los 2 meses previos con RSOL $\leq 240 \text{ Wm}^{-2}$, y

(c) los 2 meses posteriores con RSOL > 240 Wm⁻².

No DE PENTADA	FECHA	No DE PENTADA	FECHA
1	1-5 Enero	38	5-9 Julio
2	6-10 Enero	39	10-14 Julio
3	11-15 Enero	40	15-19 Julio
4	16-20 Enero	41	20-24 Julio
5	21-25 Enero	42	25-29 Julio
6	26-30 Enero	43	30 Jul3 Ago.
7	31 Ene4 Feb.	44	4-8 Agosto
8	5-9 Febrero	45	9-13 Agosto
9	10-14 Febrero	46	14-18 Agosto
10	15-19 Febrero	47	19-23 Agosto
11	20-24 Febrero	48	24-28 Agosto
12	25 Feb1 Mar.	49	29 Ago2 Sep.
13	2-6 Marzo	50	3-7 Septiembre
14	7-11 Marzo	51	8-12 Septiembre
15	12-16 Marzo	52	13-17 Septiembre
16	17-21 Marzo	53	18-22 Septiembre
17	22-26 Marzo	54	23-27 Septiembre
18	27-31 Marzo	55	28 Sep2 Oct.
19	1-5 Abril	56	3-7 Octubre
20	6-10 Abril	57	8-12 Octubre
21	11-15 Abril	58	13-17 Octubre
22	16-20 Abril	59	18-22 Octubre
23	21-25 Abril	60	23-27 Octubre
24	26-30 Abril	61	28 Oct1 Nov.
25	1-5 Mayo	62	2-6 Noviembre
26	6-10 Mayo	63	7-11 Noviembre
27	11-15 Mayo	64	12-16 Noviembre
28	16-20 Mayo	65	17-21 Noviembre
29	21-25 Mayo	66	22-26 Noviembre
30	26-30 Mayo	67	27 Nov1Dic.
31	31 May4 Jun.	68	2-6 Diciembre
32	5-9 Junio	69	7 11 Diciembre
33	10-14 Junio	70	12-16 Diciembre
34	15-19 Junio	71	17-21 Diciembre
35	20-24 Junio	72	22-26 Diciembre
36	25-29 Junio	73	27-31 Diciembre
37	30 Jun4 Jul.		

Tabla 1. Número de pentada y fecha correspondiente

3. Resultados

La Figura 1 muestra las fases extremas y los periodos de transición que caracterizan el ciclo anual de la actividad convectiva sobre el área de estudio. La zona con valores por abajo del criterio considerado, que identifica áreas con precipitación, permanece sobre regiones casi fijas durante cinco meses, separadas por un periodo de transición de aproximadamente un mes. Durante el invierno boreal (verano en el Hemisferio Sur), la zona de máxima convección se encuentra ubicada sobre la cuenca del Amazonas (Fig. 1a). Abril aparece como un mes de transición, con los mínimos valores de RSOL sobre el ecuador (alto Amazonas) y el establecimiento de la zona intertropical de convergencia (ZITC) sobre el Pacífico oriental (Fig. 1b). La segunda mitad de julio representa el periodo de transición (Fig. 1d). Es de notar que los bajos valores al sur de los Estados Unidos y norte de México, durante el invierno no representan convección, pues se deben en gran parte a las bajas temperaturas en superficie durante esta época del año.



Fig. 1. 12 años de valores medios de RSOL para 5 días que muestran las fases extremas y los periodos de transición del ciclo anual de la actividad convectiva sobre el área de estudio: (a) pentada 1 (1- 5 de enero), (b) pentada 22 (16-20 abril), (c) pentada 40 (15-19 julio) y (d) pentada 58 (13-17 de octubre). Las áreas con valores menores de 240Wm⁻² aparecen sombreadas, mientras que las líneas de intervalo son por cada 10Wm⁻². La línea gruesa en la Figura 1c corresponde al corte temporal-latitudinal que se muestra en la Figura 2.

La Figura 2 corresponde al transecto marcado con una línea gruesa en la Figura 1c, siguiendo la orientación del eje de mayor convección sobre México y la parte este del Pacífico tropical. Como se puede observar, el desplazamiento hacia el Hemisferio Norte de la zona de máxima actividad convectiva tiene lugar en dos fases, que identifican dos regímenes convectivos sobre México (Cortez and Matsumoto, 1997). La primera, indicada por O1 (onset), ocurre durante el periodo 28 (16-20 de mayo), cuando se inicia la estación de lluvias en América Central. Para el periodo 31 (finales de mayo y principios de junio) un área de mínimos valores de RSOL (menos de $200 Wm^{-2}$) se ha establecido a lo largo de la costa centroamericana del Pacífico y es concurrente con el establecimiento de la estación de lluvias sobre la parte sur del país (Chiapas, Guerrero y Oaxaca).

La segunda fase (O2) tiene lugar durante el periodo 35 (20-24 de junio), cuando la convección tiende a incrementarse cerca de los 20 N, entre los límites de Nayarit y Jalisco. Para finales de junio y principios de julio un eje de bajos valores de RSOL se ha extendido sobre el noroeste siguiendo la orientación de la Sierra Madre Occidental (Cortez and Matsumoto, 1998). Esta fase, que corresponde al establecimiento del monzón mexicano (Douglas *et al.*, 1993), se caracteriza por un súbito incremento en la precipitación en gran parte de las estaciones localizadas en la vertiente oeste de la Sierra Madre Occidental. La segunda mitad del mes de julio representa el periodo de mayor actividad convectiva en México, cuando el eje anteriormente mencionado alcanza la frontera con los Estados Unidos.

Otro aspecto interesante en la Figura 2 tiene lugar sobre el Pacífico oriental entre los 10° y 20°N, en donde una vez establecida la estación de lluvias, se observa un marcado descenso en la convección de aproximadamente dos meses de duración y que corresponde a la denominada canícula o sequía relativa de medio verano. Mosiño y García (1974) relacionan este fenómeno con

variaciones en el patrón de circulación sobre el Golfo de México, el cual ocasionalmente tiende a cambiar a un régimen de invierno, sin embargo, este argumento no explica la ocurrencia del fenómeno sobre el Pacífico oriental.



Fig. 2. Corte temporal-latitudinal a lo largo del transecto marcado con una línea gruesa en la Figura 1c. Las áreas con valores de RSOL menores de 240Wm⁻² aparecen sombreadas. Las líneas de intervalos son por cada 10Wm⁻². Ol y O2 (*onset*) identifican las fases de inicio, mientras que W1 y W2 (*withdrawal*) corresponden a las fases de retiro. La línea cerca de los 23°N separa la actividad convectiva relacionada con el monzón mexicano (MM), mientras que entre los 10°y 20°N, el periodo de canícula (C) es claramente visible.

La Figura 3 corresponde a cortes temporales a lo largo de meridianos seleccionados. Dos aspectos que vale la pena destacar son:

- (a) La Figura 3a, confirma la presencia de la canícula sobre el extremo este del Pacífico tropical, la cual se extiende desde América Central al oeste, hasta el meridiano de 100°O.
- (b) La línea gruesa en la Figura 3b indica la posición media de la ZITC cerca de los 10°N, definida por los mínimos valores de RSOL. Un aspecto interesante es que la convección experimenta dos máximos, el primero y de menor duración durante mayo y el segundo de julio a septiembre. Este patrón bimodal en la convección es visible en el área comprendida entre los 107.5°y 115°O. En la misma figura, la convección entre los 20°y 30°N corresponde al área del monzón mexicano y aparece separada de la posición norte extrema de la ZITC.

Estos dos patrones de la actividad convectiva a lo largo de la ZITC en el extremo oriental del Pacífico tropical, aparentemente están asociados a pequeñas variaciones en la temperatura superficial del mar y a cambios en el patrón de circulación regional en niveles bajos, aspecto que requiere de mayores análisis (Cortez and Matsumoto, 1998; Magaña *et al.*, 1998).

57 αст OC T 61 61 NOV NOV 65 65 69 69 DIC DIC 73 73 ZON 40N FC EC 201 40N LATITUD LATITUD Fig. 3. Cortes temporales de RSOL a lo largo de los meridianos de: (a) 90° y (b) 107.5° oeste. Las líneas de

Fig. 3. Cortes temporales de RSOL a lo largo de los meridianos de: (a) 90° y (b) 107.5° oeste. Las líneas de intervalo igual que en la Figura 2. En la Figura 3a la canícula sobre el Pacífico este es indicada por C, mientras que en 3b la línea cerca de los 10°N indica la posición de la ZITC definida por los mínimos valores de RSOL. La convección entre 20° y 30°N corresponde al monzón mexicano (MM).

La Figura 4 corresponde a pentadas seleccionadas entre mayo a septiembre, periodo que corresponde a la estación de lluvias sobre el área de estudio. Un aspecto a destacar es que la convección en el Hemisferio Norte es mucho más activa sobre el Pacífico oriental que sobre el Continente (México y América Central). Por otro lado, la característica más notable en el patrón convectivo de julio y agosto es la marcada asimetría en la parte norte del país, pues mientras en el noroeste se tiene un súbito incremento en la conveción (precipitación), un centro cerrado de valores máximos de RSOL $(270 Wm^{-2})$ en el noreste de México y sur de Texas indica cielo despejado (pentada 43), aspecto que coincide con el periodo de sequía relativa de medio verano que afecta esta parte del país.

Otro aspecto a destacar es que a lo largo del eje principal de nubosidad se observan pequeños centros de mayor actividad (finales de julio y principios de agosto) que extraordinariamente coinciden con áreas de máxima precipitación de acuerdo a análisis que utilizan imágenes de satélite (Negri et al., 1993; Negri et al., 1994; Garreaud and Wallace, 1997). Con base en tales análisis, estos máximos de precipitación, uno cerca de Puerto Vallarta y otro a la altura de Mazatlán, están relacionados con la forma cóncava de la costa y máximas locales en la elevación del terreno.

Durante los primeros días del mes de junio (pentada 31) se tiene un desplazamiento de nubosidad de corta duración sobre las Grandes Antillas relacionado con un máximo secundario en el desarrollo de ciclones tropicales sobre esta zona (McBride, 1996). Este patrón se observa nuevamente a principios de octubre asociado a otro máximo secundario. Sin embargo, el principal máximo que se presenta a principios de septiembre no es claro. Virtualmente el Golfo de México aparece como una zona sin precipitación a lo largo del año.





Fig. 4. Valores medios de RSOL para periodos seleccionados. Las áreas con valores menores de 240Wm⁻² aparecen sombreadas. Las líneas de contorno son por cada 10Wm⁻², mientras que los intervalos de 200, 240 y 280Wm⁻² aparecen indicados con líneas gruesas.

El periodo 40 (15-19 de julio) se muestra en la Figura 1.

M. CORTEZ VAZQUEZ



Fig. 4. Continuación.

A finales de agosto (pentada 49) se inicia el retroceso del eje de nubosidad sobre el noroeste del país y la estación húmeda súbitamente finaliza durante la pentada 54 (23-27 de septiembre), como se indica en la Figura 2 mediante W1 (*withdrawal*). Pocos días después, pentada 56 (3-7 de octubre), se da el retiro de la estación de lluvias en el sur de México y América Central (W2) y la zona de intensa convección inicia su desplazamiento hacia el Hemisferio Sur. Al comparar las fechas de inicio y retiro de los dos regímenes convectivos identificados, se observa que la fase de inicio es más gradual comparada con la fase de retiro que es súbita, característica común en regímenes tropicales. Un aspecto significativo es que el establecimiento del monzón mexicano se da aproximadamente un mes después del inicio de la estación de lluvias en América Central, mientras que la fase de retiro se da con pocos días de diferencia.

4. Consideraciones finales

Los análisis de valores medios para 5 días de RSOL de este estudio proveen información detallada en relación con el inicio, duración y retiro de la estación de lluvias sobre México y la parte este del Pacífico tropical, con una resolución temporal más satisfactoria que con análisis de valores medios mensuales. Aspectos relacionados con el mecanismo físico de los dos regímenes convectivos identificados sobre México se analizan en otro trabajo (Cortez and Matsumoto, 1998). Algunas cuestiones a resolver en futuras investigaciones son: ¿cuál es la relación entre los valores de RSOL y datos reales de precipitación? ¿De qué forma los patrones de RSOL descritos aquí se modifican durante la fase cálida del fenómeno ENSO? El trabajo que actualmente se realiza está orientado a dar respuesta a estas preguntas.

Agradecimientos

En la realización de esta investigación se contó con el apoyo de la Comisión Nacional del Agua a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Ministerio de Educación en Japón. Mi agradecimiento al Dr. J. Matsumoto y al Dr. O. Ohmura por sus comentarios y sugerencias. Quiero extender mi agradecimiento a Martín Téllez Saucedo y a Oliva Parada del SMN por su ayuda continua durante la realización del trabajo. Para la elaboración de los mapas se utilizó la computadora HITAC-M820 y se tuvo el apoyo del Centro de Cómputo de la Universidad de Tokio.

REFERENCIAS

- Cortez, M., and J. Matsumoto, 1997. The convective activity in Mexico as depicted by a 5day mean OLR analysis. Proceedings of the Autumn Meeting of the Japanese Meteorological Society, 72, pp76.
- Cortez, M., and J. Matsumoto, 1998. The convective activity in Mexico as depicted by a 5-day mean OLR and wind fields analysis. (Submitted to International Journal of Climatology).
- Douglas, M. W., R. A. Maddox, K. Howard, and S. Reyes, 1993. The Mexican monsoon. *Climate*, 6, 1665-1677.
- García, E., 1969. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Vol. 1, 2-30.
- Garreaud, R. D., and J. M. Wallace, 1997. The diurnal march of convective cloudiness over the Americas. Mon. Wea. Rev., 125, 3157-3171.
- Horel, J. D., A. N. Hahmann, and J. E. Geisler, 1989. An investigation of the annual cycle of convective activity over the Tropical Americas. J. Climate, 2, 1388-1403.
- Magaña, V., J. Amador and S. Medina, 1998. The mid-summer drough over Mexico and Central América. Submitted to Mon. Wea. Rev.
- Matsumoto, J., 1989. The seasonal changes of tropical cloud distribution as reveled from 5-day Outgoing Longwave Radiation. Bulletin of the Department of Geography. University of Tokyo. 21, 19-35.
- McBride, J. L., 1996. Tropical cyclone formation. Global perspective on tropical cyclones. WMO/TD-No 693, 63-105 pp.
- Mosiño, P., and E. García, 1974. The climate of Mexico. World Survey of Climatology, Vol. 11, Climates of North America, R. A. Bryson and F. K. Hare, Eds., Elsviere, 345-404.
- Mosiño, P., y E. García, 1989. Moda o valor más frecuente de precipitación mensual y annual. Atlas Nacional de México, carta IV.4.8. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F.
- Morrisey, M. L., 1986. A stadistical analysis of the relationships among rainfall, Outgoing Longwave Radiation and the moisture budget during January-March, 1979. Mon. Wea. Rev., 114, 391-942.
- Motell, C. E., and B. C. Weare, 1987. Estimating tropical Pacific rainfall using digital satellite data. J. Climate Appl. Meteor., 26, 1436-1446.
- Murakami, T., and T. Nakazawa, 1985. Transition from the Southern to Northern Hemisphere summer monsoon. Mon. Wea. Rev., 113, 1470-1486.
- Murakami, T., and J. Matsumoto, 1994. Summer monsoon over the Asian Continent and western North Pacific. J. Met. Soc. Japan, 72, 719-745.

- Negri, A. J., R. F. Adler, R. A. Maddox, K. W. Howard, and P. R. Keehn, 1993. A regional rainfall climatology over Mexico and the southwest United States derived from passive and geosynchorous infrared data. J. Climate, 6, 2144-2161.
- Negri, A. J., R. F. Adler, E. J. Nelkin, and G. J. Huffman, 1994. Regional rainfall climatologies derived from special sensor microwave imager (SSM/I) data. Bull. Amer. Meteor. Soc., 75, 1165-1182.
- Page, J. L., 1929. Climate of Mexico. Mon. Wea. Rev., Supplement No. 33.
- Rasmusson, E. M., C. F. Ropelewski, and M. S. Halpert, 1988. Time-space scales of low frequency tropical rainfall variability. Tropical rainfall measurements. Theon, J. S., and N. Gugono Eds., A. DEEPAK Publishing, Hampton, Virginia, USA.
- Schmitz, J. T., and S. Mullen, 1996. Water vapor transport associated with the summertime North American Monsoon as depicted by ECMWF analyses. J. Climate, 9, 1621-1634.
- Stensrud, D. J., R. L. Gall, S. L. Mullen, and K. W. Howard, 1995. Model climatology of the Mexican monsoon. J. Climate, 8, 1775-1793.
- Stensrud, D. J., R. L. Gall, and M. K. Nordquist, 1997. Surges over the Gulf of California during the Mexican monsoon. Mon. Wea. Rev., 125, 417-437.
- Wallén, C. C., 1955. Some characteristics of precipitation in Mexico. Gegrafiska Annaler, 37, 51-85.
- Wallén, C. C., 1956. Fluctuations and variability in Mexican rainfall. The future of arid lands. White, G. F. (ed). American Association for the Advancement of Science, Washington, DC. 141-155 pp.
- Wang, B., 1994. Climatic regimes of tropical convection and rainfall. J. Climate, 7, 1109-1118.