

Patrones sinópticos de comienzos del período lluvioso y su nexa con la variabilidad climática en la segunda mitad del siglo XX.

Autores: Antonio de Jesús Fernández García, Sinaf Barcia Sardiñas, Guillermo Orbe Arencibia y Yosvanis A. Díaz Pérez.

Centro Meteorología de Cienfuegos. E-mail: antoniodejesus_fernandezgarcia@yahoo.es

Resumen

Se presentan los resultados del estudio comparativo de la aplicación de la metodología de los Procesos Sinópticos Objetivos (PSOs), en el bimestre mayo-junio, para una longitud de 44 años subdivididos entre: 1956-1977 y 1978-1999. Se aprecia la evolución y tendencia de los procesos de la circulación regional en el área, atendiendo a cada uno de los periodos analizados. Se hace hincapié en los tipos de PSOs que se presentan con mayor frecuencia, y las tendencias manifiestas en el comportamiento de estos patrones atmosféricos en la región adyacente al archipiélago cubano. Se establece el nexa existente la tendencia de los procesos atmosféricos encontrados y el comportamiento de los totales decenales de precipitación en los meses de abril, mayo y junio. Se incluyen tablas y gráficos que ilustran el contenido del trabajo.

Introducción

Los estudios realizados por los investigadores del Centro del Clima del Instituto Meteorología indican que a finales de la década de los años 70 se produjo un punto de ruptura o de cambio en el clima en Cuba, Centella *et al.* (1997). Esta fluctuación, se refleja por un notable incremento de la variabilidad climática interanual y se ha caracterizado por un aumento de la temperatura superficial del aire, incremento en la frecuencia de sequías en el período lluvioso y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos severos de carácter extremo, Alfonso (1994), Cárdenas *et al.* (1995), Lapinel *et al.* (1993).

Los resultados de los trabajos presentados en el informe de Centella *et al.* (1997), Naranjo y Centella (1996) plantean: "que es probable que exista una estrecha vinculación entre las variaciones de la cuña anticiclónica, el incremento del espesor de la capa baja y algunas fluctuaciones observadas en las precipitaciones. De hecho, los cambios en la frecuencia e intensidad de las sequías parecen vincularse con esos procesos".

El presente trabajo examina el comportamiento de los Procesos Sinópticos Objetivos, (PSOs), Fernández y Díaz (2003), en el bimestre mayo-junio y para dos períodos de la segunda mitad del siglo XX: 1956-1977 y 1978-1999. El análisis comparativo de ambos períodos, tiene como objetivo principal encontrar diferencias entre los patrones de circulación más frecuentes, que justifiquen los cambios acaecidos en el régimen de precipitaciones de esta época del año.

Materiales y metodología científica del trabajo.

En el trabajo fueron empleados los datos del NCAR-NCEP para el área de Cuba, el Caribe

Las Bahamas, golfo de México y el sureste del continente, en el período comprendido entre

1956 y 1999. El período fue subdividido en dos: el primero de ellos abarca los años comprendidos entre 1956-1977 y otro a continuación entre 1978 – 1999, para un total de 22 años en cada una de las muestras. Para esta subdivisión de los períodos se tuvo en cuenta los resultados de las investigaciones realizadas por Naranjo y Centella (1996), las cuales indican que las variaciones climatológicas encontradas en Cuba han ocurrido después de 1976, en correspondencia con los estudios globales reflejados en el Informe del IPCC (2001).

Los campos meteorológicos diarios considerados fueron el campo de presión en la superficie del nivel medio del mar y la altura de los geopotenciales en el nivel de 500 hPa, para una rejilla de 117 puntos en el entorno de Cuba, comprendida entre 10-30 grados de latitud norte y 65-95 grados de longitud oeste. La muestra de datos diarios de presión atmosférica en superficie y H500, fue tomada para el bimestre mayo-junio, tomando un período de 44 años comprendidos entre 1956 y 1999. Se empleó para igual período, los datos diarios de precipitación de una red pluviométrica ubicada en la parte llana occidental de la provincia de Cienfuegos.

Para llevar a cabo la investigación fueron obtenidos los Procesos Sinópticos Objetivos, PSOs, mediante la metodología de clasificación automática de situaciones sinópticas propuesta por Fernández y Díaz (2003); aplicada a cada uno de los períodos por separados del bimestre mayo-junio. Se emplearon e interpretaron las salidas de las imágenes de los PSOs más frecuentes para cada período. También fueron calculados los totales decenales promedios de precipitación para las 9 decenas de los meses de abril, mayo y junio, atendiendo a los períodos considerados: 1956-1977 y 1978-1999.

Aspectos principales en que se basa la metodología de la clasificación sinóptica automática de los Procesos Sinópticos Objetivos, (PSOs).

Los aspectos metodológicos fundamentales en que se basa la metodología para la obtención de los PSOs, son los siguientes:

Cálculo de las iteraciones entre las ternas de situaciones sinópticas, evaluando el valor de la distancia entre ternas, dada por la fórmula general:

$$Dist_{(k)} = (\sum_{i=1, m} \sum_{j=1, n} |Fmod_{(i, j, k)} - Fdat_{(i, j, k)}|) / m * n \quad (1)$$

Donde Fmod(i,j,k) en la expresión 1, es la matriz de datos de cada iteración de las variables empleadas Psuv y H500, y Fdat(i,j,k) es el banco de los campos diarios incluidos para la obtención de los PSO. El subíndice i corresponde con las filas (latitud) y el subíndice j corresponde con las columnas (longitud), de las matrices de datos de la presión atmosférica en superficie al nivel medio del mar y de la altura Z en el nivel de 500 hpa. "k" representa el índice que cuenta el número de iteraciones de cada PSO. El número de filas de la matriz se define por "m" y el de columnas por "n".

• Proceso de iteraciones continuas de cálculo de distancias, con nivel de significación estadística de $\alpha = 0.05$. Determinación del conjunto de iteraciones de la Dist. (k) para la cual se cumple la condición a y cálculo de S1 y S2 para la determinación de los grupos optimizados que integran los PSO.

Donde S1 y S2 son elementos integradores de la llamada función discriminante de Miller, y son calculados mediante las fórmulas:

$$S_1(xp) = (\sum_{g=1, G} \sum_{k=1, ng} (xpgk - xpg)^2) \quad (2)$$

$$S_2(xp) = (\sum_{g=1, G} (xpg - xp)^2) \quad (3)$$

Donde $(Xpgk - Xpg)^2$ representa, las diferencias cuadráticas entre la media interior de cada Grupo PSO y c/u de los valores observados de Psup y Z500. G es el número de PSO y S1(Xp) representa la suma total de las desviaciones INTRAGRUPOS de todos los PSO. El término $(xpg - xp)^2$ representa las diferencias entre las "Grandes medias de cada PSO" y la media total de la muestra analizada, ponderada por el número de casos de PSO, mientras que S2(Xp) da una media de las desviaciones INTERGRUPOS.

• Se calcula el cociente $S2(xp) / S1(xp)$, para todas las iteraciones calculadas, y se selecciona aquella donde se MAXIMIZA el cociente $S2(xp) / S1(xp)$. De esa manera se seleccionan los Grupos de la clasificación que conforman los PSO. Se obtiene el campo promediado de los campos de Psup (presión atmosférica al nivel medio del mar) y 500, (altura de los geopotenciales en el nivel de 500 hPa), considerando la evolución del proceso, concebida en la clasificación objetiva de los PSOs, expresada a través de las cartas promedios 24 horas antes y posteriores al conjunto de días que componen un PSO de la clasificación, es decir: d-24 horas (d-1), d y d+24 horas (d+1). Se calculó, además, la frecuencia relativa de cada PSO en el bimestre y la relación de días individuales que forman parte de los PSO.

En el proceso de clasificación no necesariamente entran todos los casos que integran la muestra analizada. Aquellas "ternas" que no formaron parte

de uno de los PSO, se corresponden en general. También, aquellos PSO de frecuencia muy baja, están en correspondencia con situaciones meteorológicas poco comunes o extremas, se adoptó el criterio de que cuando la Frecuencia del PSO < 1 %, se consideró a cada uno de los casos individuales excluidos de los PSO.

Análisis y discusión de los resultados

Distribución de los PSOs en los dos períodos analizados: 1956-1977 y 1977-1996. Comparación entre los patrones de circulación más frecuentes del bimestre mayo-junio.

En el mes de mayo comienza la estación de las lluvias en Cuba, que se extiende hasta octubre por un período de 6 meses. La distribución de los PSOs obtenidos, (Tabla 1), deja ver con claridad como el período más reciente se caracteriza por patrones de circulación más persistentes en el tiempo, debido, a la elevada frecuencia relativa que presentan los dos primeros PSOs del período 1978-1999 y a la menor cantidad de procesos seleccionados por la metodología de la clasificación. Los dos primeros PSOs presentan más del 50% de los patrones de circulación que predominan en esa época del año, a diferencia del período 1956-1977, que es inferior al 30%.

Tabla 1. Frecuencia de los Procesos Sinópticos Objetivos, PSOs, en ambos periodos del bimestre mayo-junio.

Mayo Junio 1956-1977			Mayo Junio 1978-1999		
Total de casos: 1342			Total de Casos: 1342		
Casos incluidos PSOs: 1328			Casos incluidos PSOs: 1323		
Por ciento: 98.95			Por ciento: 98.58		
Grupos PSOs	Num.Casos	Frecuencia (%)	Grupos PSOs	Num.Casos	Frecuencia (%)
1	235	17,5	1	343	25.6
2	167	12,4	2	338	25.2
3	163	12,1	3	118	8.8
4	119	8,9	4	109	8.1
5	117	8,7	5	105	7.8
6	106	7,9	6	68	5.1
7	94	7,0	7	56	4,2
8	71	5,3	8	51	3,8
9	69	5,1	9	38	2,8
10	44	3,3	10	31	2,3
11	34	2,5	11	26	1,9
12	28	2,1	12	25	1,9
13	24	1,8	13	15	1,1
14	22	1,6	-	-	-
15	20	1,5	-	-	-
16	15	1,1	-	-	-

En la Fig. 1 se aprecian los PSOs 1 resultantes del procesamiento de las muestras analizadas, los cuales se corresponden con el patrón sinóptico que presenta la mayor frecuencia relativa en ambos periodos. La comparación realizada muestra que en el segundo periodo, -1978-1999-, se refuerza considerablemente la influencia de las altas presiones, con la estructuración de una amplia dorsal en niveles medios sobre las inmediaciones de La Florida. Se aprecia además, que el eje de la dorsal es más alargado en la dirección Este-Oeste, penetrando hasta la parte occidental del golfo de México. En el primer periodo, -1956-1977-, la dorsal penetra más hacia el norte y es menos pronunciada,

denotando mayor intercambio latitudinal, engendrado por la propia circulación del sistema de altas presiones en niveles medios.

El nivel de la presión atmosférica en superficie presenta diferencias poco significativas, e incluso se puede afirmar que el patrón de circulación del sistema de altas presiones subtropicales, mantiene una estructura espacial muy similar en ambos periodos. Algo muy importante constituye el hecho de que el PSO 1 del periodo 1978-1999, presenta una frecuencia mayor al homólogo del periodo 1956-1977. De hecho se aprecia la tendencia al reforzamiento de la circulación anticiclónica, y mayor persistencia del patrón de circulación.

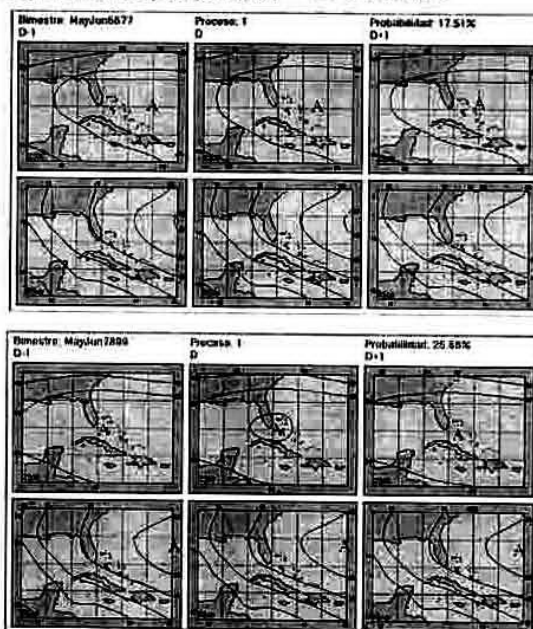


Fig. 1 Proceso Sinóptico Objetivo 1, (Psup-H500), para los dos periodos analizados: A- 1956-1977 y B- 1978-1999.

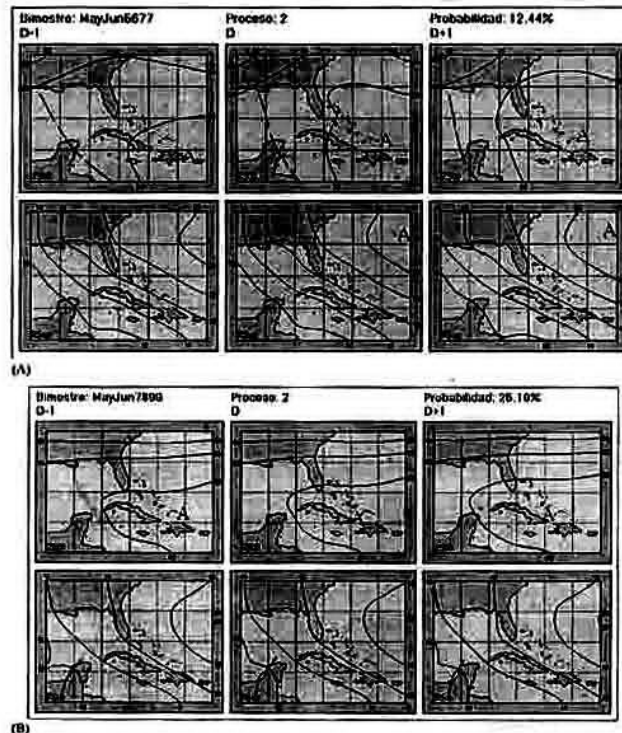


Fig. 2 Proceso Sinóptico Objetivo 2, (Psup-H500), para los dos períodos analizados: A- 1956-1977 y B- 1978-1999.

La Fig. 2 muestra la comparación de los PSO 2, es decir los segundos patrones de circulación en orden descendentes con relación a la frecuencia calculada para ambos períodos. La diferencia es aquí más evidente, debido a la tendencia de que en el período 1978-1999 se mantiene la influencia sobre el entorno del archipiélago cubano de una marcada cresta o cuña anticiclónica en los niveles medios de la atmósfera. En el período 1956-1977, el patrón de circulación continúa diferenciándose en los niveles medios. Se refleja la estructura de una dorsal anticiclónica, que presenta su zona central extendida sobre las inmediaciones de La Española, la cual establece un flujo predominante de componente sur sobre la mitad occidental de Cuba, la península de Yucatán y la parte central del golfo de México.

Hay otro aspecto importante adicional que está relacionado con la frecuencia de los dos primeros patrones de circulación del período 1978-1999. Ambos, acumulan un porcentaje cercano al 51%, es decir, la mitad de las situaciones atmosféricas ocurridas en el bimestre mayo-junio del período más reciente pertenecen a estos dos tipos de situaciones sinópticas, denominadas en la metodología con el nombre de Procesos Sinópticos Objetivos, (PSOs). A esto, se le suma la particularidad de que ambos procesos reflejan el aumento de la influencia anticiclónica en niveles medios, constituyendo la causa por la cual diversas investigaciones concluyen en afirmar de que ha ocurrido la tendencia a la disminución de las precipitaciones en el mes de mayo,

el comienzo de las lluvias primaverales tiende a retardarse y ha ocurrido un incremento de los períodos de sequías hacia la parte oriental del país, Lapinel *et. al.* (1993) y Centella *et. al.* (1997).

Los dos primeros PSOs del período 1956-1977, presentan una frecuencia que no rebasan el 30%, es decir la variabilidad de los patrones de circulación es mayor, si se tiene en cuenta incluso que en este período fueron seleccionados 16 procesos o tipos, a diferencia de los 13 encontrados en el último cuarto de siglo. La estabilidad atmosférica asociada a los dos procesos de mayor frecuencia es también mucho menor, debido a que la circulación anticiclónica es menos potente en niveles medios, y a la presencia de una marcada hondonada en el noroeste del mar Caribe y el golfo de México en niveles medios, en el caso del PSO 2. Las características de los mecanismos de circulación de la década de los años 50, 60 y primera mitad de la década de los 70, denota que los patrones incentivaban los procesos de precipitación con mayor frecuencia y como consecuencia de ello, los meses de mayo acopiaban mayor cantidad de precipitaciones.

El análisis del PSO 3 para ambos períodos se ilustra en la Fig. 3. El período 1978-1999 continúa siendo coincidente con el hecho de que los patrones de mayor frecuencia incentivan los procesos de estabilidad atmosférica en el área. En el PSO 3 se aprecia la influencia en superficie de una celda de altas presiones

migratorias de origen continental, la cual se interna gradualmente en la parte occidental del océano Atlántico. El patrón del período 1956-1977 por el contrario, muestra la influencia bien definida de la

circulación de las altas presiones oceánicas con un flujo penetrante de componente sudeste, que es más húmedo y favorable a la ocurrencia de precipitaciones, Fernández *et. al.* (2003).

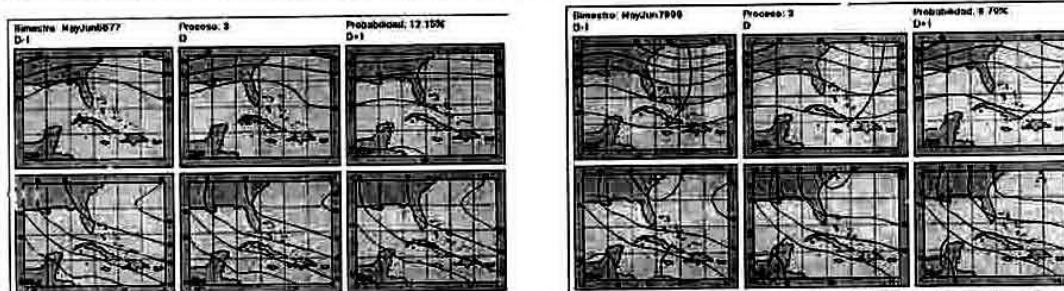


Fig. 3 Proceso Sinóptico Objetivo 3, (Psup-H500), para los dos períodos analizados: A- 1956-1977 y B- 1978-1999

Comportamiento de los totales de lluvia decenales del trimestre Abril-Junio para los dos períodos analizados.

La Fig. 4 muestra la comparación de la marcha de los totales decenales de precipitación en la llanura occidental de la provincia de Cienfuegos en Cuba, para ambos períodos: 1956-1977 y 1978-1999. Se aprecia que durante el período 1956-1977 los acumulados de precipitación alcanzaron mayor magnitud en las tres

decenas del mes de abril. Es muy contrastante el hecho de que la primera decena de mayo en el primer período, presenta precipitaciones promedios próximas a los 60 mm., mientras que en el segundo período alcanzaron sólo 35 mm de promedio decenal, apreciándose la tendencia a una disminución significativa de las lluvias en la primera decena de mayo. Esto corrobora el análisis realizado en el epígrafe anterior, en cuanto al hecho de que en el último período los procesos sinópticos más frecuentes se caracterizan por una mayor estabilidad atmosférica.

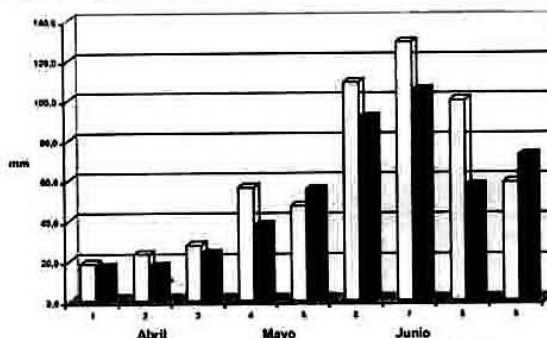


Fig. 4 Marcha de los totales decenales de precipitación en la llanura occidental de la provincia de Cienfuegos, en el trimestre abril-junio. Barras color blanco (período 1956-1977), barras color negro (período 1978-1999).

De igual manera en el primer período se aprecia un aumento mucho más significativo de las precipitaciones en el intervalo comprendido entre la tercera decena de mayo y la segunda de junio, el cual se caracteriza por ser el más lluvioso del año en gran parte del territorio nacional, Lecha *et. al.* (1994). Sin embargo, en la tercera decena de junio las precipitaciones entre los años 1978-1999 son más elevadas, en contraste con el resto de las decenas que presentan un régimen de precipitaciones inferior. El período 1956-1977 se caracterizó por presentar acumulados de precipitaciones superiores, con excepción de la tercera decena de junio que tuvo un

comportamiento contrario. En esta decena comienza el llamado "veranito de San Juan", caracterizado por una disminución apreciable de las precipitaciones a finales de junio y comienzos del mes de julio, las cuales alcanzan un mínimo relativo en la primera decena del mes de julio, Llanes *et. al.* (inédito).

Conclusiones

El análisis de los sistemas sinópticos del bimestre mayo-junio en los 2 períodos seleccionados de la segunda mitad del siglo XX, denota una tendencia marcada al incremento de la estabilidad de los patrones de circulación. En el último cuarto del siglo

XX se aprecia un aumento de la influencia de las altas presiones, caracterizado por la estructuración de una celda anticiclónica o de una potente dorsal en más del 50% de los procesos que influyen en este bimestre del año.

A diferencia de lo encontrado en el período 1978-1999, entre los años 1956-1977, los patrones de circulación más frecuentes se caracterizan por una mayor inestabilidad atmosférica. La influencia de las altas presiones en niveles medios es menor, y se aprecia un mayor intercambio meridional en la circulación predominante en la región.

Las diferencias encontradas en los sistemas más frecuentes de circulación atmosférica en ambos períodos corroboran los resultados científicos relacionados con los estudios de variabilidad climática de las precipitaciones realizadas en Cuba en los últimos años. Con respecto a las series temporales de precipitación en la mitad occidental de la provincia de Cienfuegos, se aprecia una disminución significativa de las llamadas lluvias primaverales de los meses de mayo y junio, presente en los análisis comparativos de la marcha decenal de las precipitaciones del período abril-junio.

Bibliografías

Alfonso A. (1994): Climatología de las tormentas locales severas. Cronología. Editorial Academia. La Habana, 168 pp.

Cárdenas, P. A. A. Centella y L. Naranjo (1995): Teleconnection Pacific Caribbean ENSO and QBO as forcing climate variability elements. Proceeding Sixth Interannual Meeting of Statistical Climatology. Galway, Ireland.

Centella A., L. Naranjo y L. R. Paz (1997): Variaciones y cambios del clima de Cuba, Instituto de Meteorología, Centro Nacional del Clima, 59 pp.

IPCC,WGI. (2001): Climate Change-The Science of Climate Change. *The Third Assessment Report of The Inter-Governmental Panel on Climate Change*. J. T.

Fernández A. J. y Y. Díaz (en prensa): Catálogo de procesos sinópticos en el Archipiélago cubano, Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Instituto de Meteorología, 170 pp. Editorial GeoCuba.

Fernández A.J., S. Barcia, G. Orbe, M. T. Llanes, M. García y D. Arcia (2003): «Climatología sinoptica de la distribución mesoescalar de las precipitaciones, en varios polígonos del territorio de Cuba». Resultado Científico aprobado por el Consejo Científico del Instituto de Meteorología en el Taller de octubre de 2003, 179 pp.

Lapinel B., R.E. Rivero y V. Cutié (1993): «La Sequía en Cuba: Análisis del período 1931-1990». Informe científico-técnico. Centro Meteorológico Territorial, Camagüey, 40 pp.

Lecha, L., L. Paz y B. Lapinel (1994): *El clima de Cuba*, Ed. Academia, Ciudad de La Habana, 186 pp

Llanes M., S.Barcia, A.J. Fernández y G. Orbe (inédito): Distribución espacial y temporal de los acumulados decenales de precipitación en las provincias centrales de Cuba. Presentado para su publicación en la Rev. Cubana de Meteorología, 20 pp.

Naranjo L. A. Centella (1996): Variaciones interanuales de los campos meteorológicos sobre el Caribe y el Golfo de México. Parte I: presión al nivel medio del mar y altura en 500 hPa. Propuesto para publicación en Inter. Journ. of Clim. 20 pp.