

TENDENCIAS DE LOS PATRONES DE CIRCULACIÓN ESTIVALES EN EUROPA OCCIDENTAL EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX. PRECIPITACIONES ASOCIADAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Antonio de Jesús FERNÁNDEZ GARCÍA* y Javier MARTÍN VIDE**

* Centro Meteorológico Prov. Cienfuegos, Instituto de Meteorología, Cuba

** Grupo de Climatología, Universidad de Barcelona, España

RESUMEN

Empleando la clasificación sinóptica automática de FERNÁNDEZ y DÍAZ (2003), se comparan los patrones de circulación estivales en Europa entre dos periodos: 1957-1976 y 1977-1996. Para ello se analiza la frecuencia de los llamados Procesos Sinópticos Objetivos (PSOs) y se establece las características de los tipos de mayor frecuencia, así como su relación con los totales diarios de precipitación y su probabilidad en la España peninsular. Se observa un reforzamiento de las condiciones anticiclónicas y una disminución de la probabilidad de precipitación asociada a estos patrones frecuentes en el segundo periodo. Se compara también la distribución espacial de las precipitaciones asociadas a los procesos de baja frecuencia.

Palabras clave: Cambio climático, clasificación sinóptica automática, Península Ibérica, precipitación, Proceso Sinóptico Objetivo.

ABSTRACT

Using the objective weather-type system of Synoptic Objective Processes (PSOs) by FERNÁNDEZ and DÍAZ (2003), the summer European patterns of circulation in two periods, 1957-1976 and 1977-1996, are compared. The frequency of the PSOs is analyzed for both periods. The characteristics of the more frequent circulation patterns and their relationships with the amounts and the rain probability in the peninsular Spain are established. A decreasing trend in the precipitation of those patterns in the second period is observed, related with more anticyclonic conditions. It is also compared the spatial distribution of the precipitations associated with the processes of low frequency.

Key words: Climatic change, Iberian Peninsula, precipitation, synoptic automatic classification, Synoptic Objective Processes.

1. INTRODUCCIÓN

El Tercer IPCC (2001) estableció que la temperatura media global en superficie ha aumentado en $0,6^{\circ}\text{C}\pm 0,2$ desde 1860 y que el calentamiento se ha concentrado en el periodo 1910-1945 y a partir de 1976. Afirma además que el siglo XX, su década de los años noventa y 1998 son los más cálidos del último milenio, así como que las temperaturas mínimas diarias en los continentes han aumentado el doble que las máximas diarias desde la década de los años cincuenta. Tales resultados, generales y concluyentes, contrastan con los relativos a la precipitación, más inciertos y menos globales. Así, se afirma que probablemente en la mayor parte de las áreas continentales de latitudes medias y altas se ha dado un incremento de la precipitación, aunque en muchas áreas continentales subtropicales la cantidad de lluvia ha disminuido.

Todas estas variaciones están vinculadas a alteraciones que de una forma u otra han experimentado los patrones de circulación de las diversas regiones del planeta, aspecto que puede considerarse como un elemento medular para profundizar sobre las causas y efectos del cambio climático y las tendencias que en la actualidad ocurren en la circulación atmosférica. La climatología sinóptica ayuda a identificar las configuraciones claves en los patrones de circulación y las causas que modifican el comportamiento de las variables meteorológicas (HIDY, 1988). Los esquemas de clasificación traen orden y simplicidad al sistema climático, proporcionando una gran cantidad de información en forma codificada (YARNAL, 1993). También, se tiene el establecimiento de nexos entre las escalas, vinculando los procesos de circulación global y los que caracterizan los diversos fenómenos que ocurren en superficie (TURNER *et al.*, 1989).

En el caso de España no existe una clasificación sinóptica manual que haya tenido amplia aceptación, siendo algunas de las propuestas más generalizadas las de LINÉS (1981), con 25 tipos en 300 hPa, FONT TULLOT (1983), con 23 tipos que combinan superficie y 500 hPa, MARTÍN VIDE (1991), con 16 tipos usando los mismos niveles, y CAPEL MOLINA (2000), con 18 tipos basados en superficie y en 500 ó 300 hPa. En los últimos 20 años se ha avanzado en el desarrollo de clasificaciones sinópticas automáticas o de carácter objetivo, caracterizadas por su dependencia de un algoritmo numérico y la reducción considerable del tiempo requerido en el propio proceso de clasificación, mediante técnicas multivariadas y afines, y otras (GALÁN, 1989; MARTÍN-VIDE, 2002; RASILLA, 2003). Recientemente FERNÁNDEZ y DÍAZ (2003) y FERNÁNDEZ *et al.* (2004) han llevado a cabo un procedimiento de clasificación objetiva denominado **Procesos Sinópticos Objetivos -PSOs-**, el cual ha sido aplicado en la Península Ibérica al bimestre septiembre-octubre por FERNÁNDEZ *et al.* (2003). El algoritmo de cálculo de los PSOs estratifica los periodos del año en bimestres, y considera cada situación o caso como parte de un proceso temporal que empieza 24 horas antes y termina 24 horas después del día de la clasificación. También SORIANO *et al.* (2004) han empleado la clasificación mencionada para caracterizar las situaciones sinópticas y asociarlas con las salidas correspondientes del modelo mesoescalar TAPM en Cataluña.

En el presente trabajo se aplican los **PSOs** al espacio centro-occidental de Europa, en el periodo estival conformado por los meses de julio y agosto, para dos periodos de 20 años de la segunda mitad del siglo XX: 1957-1976 y 1977-1996, durante el cual los informes científicos del IPCC (2001) centran la aceleración del calentamiento global. El objetivo básico plantea, tras la comparación de los procesos de circulación más comunes de ambos periodos, encontrar señales o tendencias asociadas a los procesos sinópticos, así como analizar las variaciones experimentadas por el campo de precipitaciones en la España peninsular.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el presente trabajo se empleó la base de datos NCEP-NCAR, con resolución de 2,5 grados, de las variables presión atmosférica al nivel medio del mar, *P_{sup}*, y altura del geopotencial de 500 hPa, *H₅₀₀*, en el periodo correspondiente a los años 1957-1996. Esta muestra de datos de 40 años fue subdividida en los periodos 1957-1976 y 1977-1996. La región analizada quedó delimitada por los paralelos 25° y 65° N y los meridianos 30° W y 30° E, que, a la resolución indicada, conforman una malla de 425 puntos (17 paralelos x 25 meridianos). Para el mismo periodo se empleó la base de datos de precipitación diaria del Instituto Nacional de Meteorología

de España, con resolución de 55 km, para un total de 203 puntos de rejilla ubicados sobre la Península Ibérica y las Islas Baleares.

Se utilizó la salida de la clasificación automática de FERNÁNDEZ y DÍAZ (2003), ya con dos aplicaciones previas en la Península Ibérica (FERNÁNDEZ *et al.*, 2003; SORIANO, *et al.*, 2004) y con otra en varios polígonos del archipiélago cubano (FERNÁNDEZ *et al.*, 2004). Se halló la distribución de frecuencias de los *PSOs* para los dos periodos de análisis, así como su periodo de retorno, estableciéndose comparaciones entre los 4 *PSOs* de mayor frecuencia, así como entre los campos de probabilidad e intensidad media de la precipitación asociados. El criterio de corte de la clasificación automática excluye los grupos o *PSOs* que no alcancen una frecuencia del 1%.

Para estudiar la influencia que tienen los patrones de circulación en ambos periodos, y sus tendencias con relación al comportamiento de las precipitaciones, se comparó los grupos de los procesos más frecuentes que agrupan un 50% de la muestra, obteniéndose para ellos los mapas medios de probabilidad e intensidad media de la precipitación en el territorio peninsular español. El mismo procedimiento se aplicó para los *PSOs* menos frecuentes y finalmente para los casos que no quedaron agrupados por la metodología de selección (frecuencia menor del 1%).

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

3.1. Distribución de la frecuencia de los *PSOs* para ambos periodos

En el periodo 1956-1977 quedaron identificados 23 *PSOs*, mientras que en el 1977-1996 se redujeron a 19 (Tabla 1). Es significativo observar que la frecuencia alcanzada por el *PSO 1* del segundo periodo duplica la del *PSO 1* del primero, lo cual sugiere una mayor permanencia de la situación sinóptica más típica en el último cuarto del siglo XX. La disminución gradual de la frecuencia, aproximadamente exponencial negativa, se ha hecho visible en otros escenarios climáticos donde ha sido aplicada esta metodología (FERNÁNDEZ *et al.*, 2004).

Tabla 1. Frecuencia absoluta, frecuencia relativa y recurrencia de los *PSOs*, y fechas no clasificadas, en los dos periodos analizados

1957-1976				1977-1996			
PSO	Nº	%	Rec (d)	PSO	Nº	%	Rec (d)
1	85	6,9	15	1	139	11,2	9
2	83	6,7	15	2	90	7,3	14
3	83	6,7	15	3	89	7,2	14
4	81	6,5	15	4	85	6,9	15
5	72	5,8	17	5	84	6,8	15
6	69	5,6	18	6	83	6,7	15
7	67	5,4	18	7	77	6,2	16
8	64	5,2	19	8	72	5,8	17
9	61	4,9	20	9	71	5,7	17
10	60	4,9	21	10	64	5,2	19
11	53	4,3	23	11	57	4,6	22
12	52	4,2	24	12	56	4,5	22
13	50	4,0	25	13	51	4,1	24
14	50	4,0	25	14	40	3,2	31
15	49	4,0	25	15	38	3,1	33
16	48	3,9	26	16	37	3,0	33
17	43	3,5	29	17	32	2,6	39
18	31	2,5	40	18	31	2,5	40
19	29	2,3	43	19	24	1,9	51
20	27	2,2	46	Casos no integrados en los PSOs			
21	24	1,9	52				
22	24	1,9	52				
23	16	1,3	77				
Casos no integrados en los PSOs				Casos no integrados en los PSOs			
9 de agosto de 1957, 1 al 3 de julio de 1958, 19 al 22 de agosto de 1958, 12 de julio de 1961, 30 y 31 de agosto de 1963, 17 y 18 de agosto de 1964, 22 de agosto de 1965, 11 y 12 de julio de 1969, 15 y 16 de julio de 1973, y 31 de agosto de 1974				19 al 23 de agosto de 1977, 8 de julio de 1980, 20 y 21 de agosto de 1980, 5 de agosto de 1985, 17 y 18 de julio de 1987, 1 al 6 de julio de 1988, y 29 al 31 de agosto de 1992			

3.2. Características de los *PSOs* más frecuentes en ambos periodos. Distribución de las precipitaciones asociadas a ellos

La figura 1 muestra el *PSO 1* para los dos periodos de análisis. En el periodo 1977-1996 la influencia anticiclónica es mucho más potente, caracterizada en superficie por una clara dorsal del Anticiclón de las Azores, cuyo eje se extiende hacia Europa central. En el periodo 1957-1976 el haz de isohipsas en 500 hPa que atraviesa la Península Ibérica no muestra curvatura anticiclónica. En correspondencia con todo ello, la cantidad media de precipitación y la probabilidad de su ocurrencia en el periodo más reciente es menor que en el primero. Es significativa la apreciable disminución de la probabilidad de precipitación en los Pirineos y Cataluña. El hecho de que el *PSO 1* del periodo 1977-1996 sea mucho más frecuente que el *PSO 1* del periodo 1957-1976

ilustra la tendencia al fortalecimiento y la mayor permanencia de la circulación anticiclónica tanto en superficie como en niveles medios troposféricos.

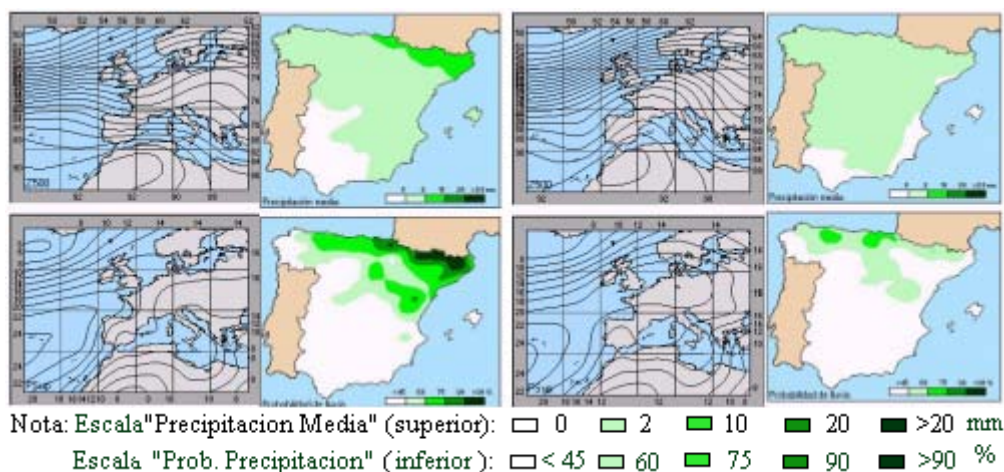


Fig. 1. PSO 1 correspondiente al día central "d" ($P_{sup-H500}$) y distribución de la probabilidad (inferior) e intensidad media de las precipitaciones (superior). Periodos: 1957-1976 (izquierda) y 1977-1996 (derecha)

En la figura 2 se muestra el *PSO 2* de ambos periodos. Relativamente equilibrados en su frecuencia de aparición, aquí ya no es tan claro el reforzamiento de la influencia anticiclónica al pasar del primero al segundo periodo. Algo más ondulada es la circulación superior en el primer periodo, con una vaguada al oeste de la Península Ibérica, y más próxima a este ámbito es el eje de la dorsal en superficie en el segundo, lo que puede inducir a la reducción de la precipitación en el periodo 1977-1996, con relación al anterior.

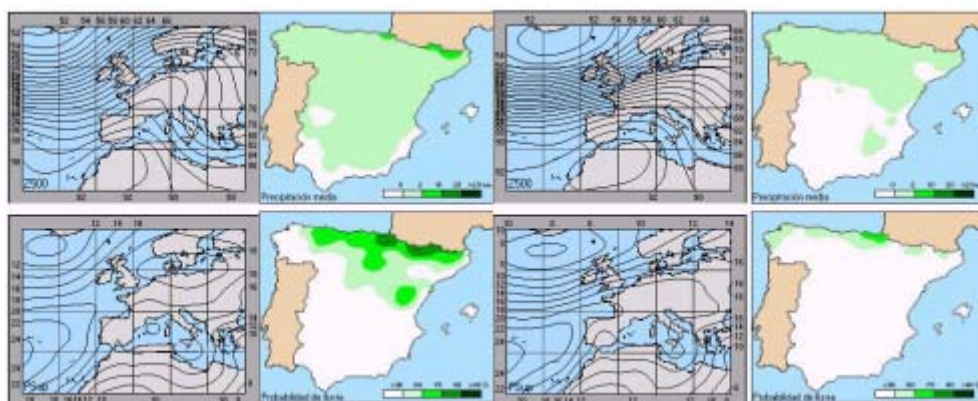


Fig. 2. PSO 2 correspondiente al día central "d" ($P_{sup-H500}$) y distribución de la probabilidad (inferior) e intensidad media de las precipitaciones (superior). Periodos: 1957-1976 (izquierda) y 1977-1996 (derecha)

El *PSO 3* de ambos periodos discrepa apreciablemente (Fig. 3), con un claro reforzamiento anticiclónico en el periodo más reciente. Así, en superficie un potente anticiclón queda centrado al

sur de las Islas Británicas en el periodo 1977-1996. En 500 hPa la circulación rápida de componente oeste sobre la Península Ibérica en el periodo 1957-1976 da paso a una dorsal anticiclónica con eje meridiano sobre la costa occidental en los veinte años siguientes. La relativa frecuencia de la precipitación en la mitad nororiental ibérica en el primer periodo se reduce drásticamente en el segundo.

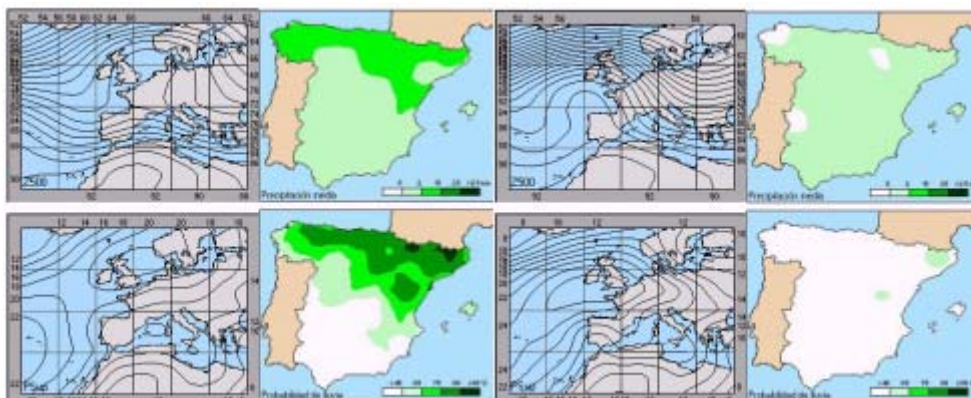


Fig. 3. PSO 3 correspondiente al día central “d” (P_{sup} -H500) y distribución de la probabilidad (inferior) e intensidad media de las precipitaciones (superior). Periodos: 1957-1976 (izquierda) y 1977-1996 (derecha)

Como se ha visto, los primeros tres *PSOs* para ambos periodos dan conjuntamente una tendencia anticiclónica creciente, más evidente en los niveles medios troposféricos, que justifica la disminución de las precipitaciones asociadas con los patrones de circulación predominantes en verano.

En cambio, el *PSO 4* rompe la tendencia de los tres anteriores, mostrándose la circulación en superficie y en 500 hPa más nítidamente anticiclónica en el primer periodo que en el segundo, lo que se traduce en un aumento de la cantidad y, sobre todo, de la probabilidad de precipitación en la mitad norte de la Península Ibérica en el periodo más reciente (Fig. 4).

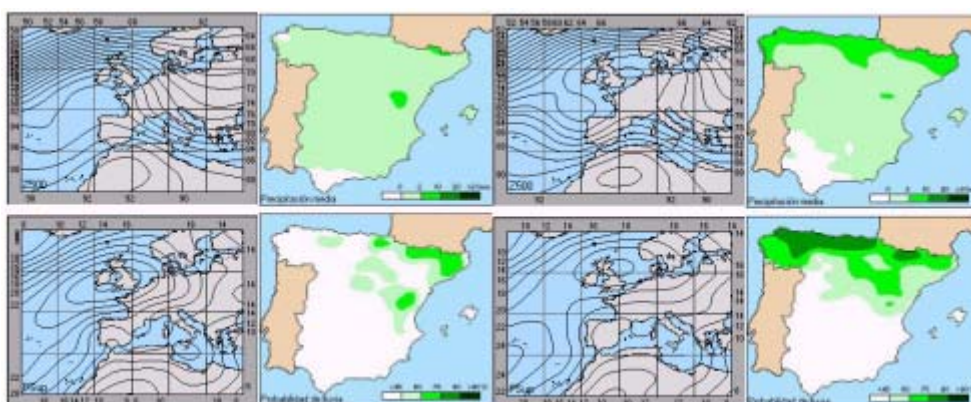


Fig. 4. PSO 4 correspondiente al día central “d” (P_{sup} -H500) y distribución de la probabilidad (inferior) e intensidad media de las precipitaciones (superior). Periodos: 1957-1976 (izquierda) y 1977-1996 (derecha)

3.3. Tendencias de los campos de precipitación en la Península Ibérica vinculados a los patrones de alta y baja frecuencia

En la figura 5 se presenta la distribución espacial de la precipitación media y de la probabilidad de ocurrencia para los dos periodos analizados. Se aprecia una disminución de la frecuencia de la precipitación al pasar del primer periodo al segundo en la franja septentrional de la Península Ibérica, desde Asturias hasta el norte de Cataluña, la única área, por otra parte, en la que el fenómeno adquiere una cierta relevancia en verano.



Fig. 5. Climatología de la distribución espacial del acumulado diario de precipitaciones en España, para julio y agosto. Periodos: 1957-1976 (izquierda) y 1977-1996 (derecha)

La comparación de los campos de precipitación correspondientes al conjunto de los patrones más frecuentes, que engloban alrededor de un 50% de las fechas (concretamente, los 8 primeros *PSOs* en el periodo 1957-1976, que acogen un 48,8% de la muestra, y los 7 primeros *PSOs* en el periodo 1977-1996, que acumulan un 52,2%), refuerza la tendencia antes apuntada (Fig. 6). Así, la probabilidad de precipitación con los patrones de circulación más frecuentes del primer periodo es superior a la del segundo periodo en el norte y nordeste. En algunos sectores del Pirineo hay valores superiores al 80% en el periodo 1957-1976, mientras que en el 1977-1996 no se supera el 50-60%.

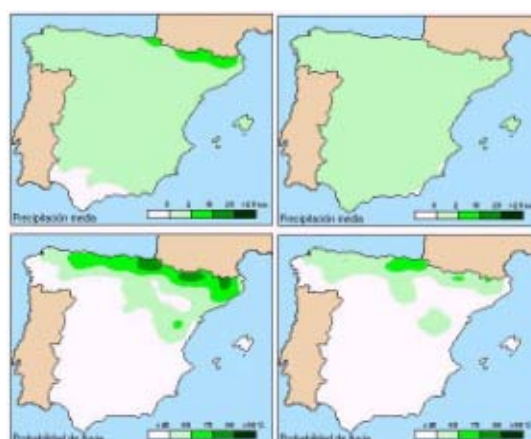


Fig. 6. Distribución espacial de las precipitaciones asociadas con la muestra de casos que integran los 8 primeros *PSOs* -48,8% de la muestra-, periodo 1957-1976 (izquierda), y a los 7 primeros *PSOs* -52,2% de la muestra-, periodo 1977-1996 (derecha)

La figura 7 ilustra la comparación de los campos de precipitación de los dos periodos analizados para el conjunto de los patrones menos frecuentes, que concentran aproximadamente el 10% de los casos de las muestras (concretamente, los últimos 5 *PSOs* en el periodo 1957-1976 y los últimos 4 en el periodo 1977-1996). En este caso, la precipitación media ha aumentado hacia el noroeste peninsular y, sobre todo, la probabilidad de precipitación se ha reducido algo en el nordeste, en beneficio del noroeste, al pasar del primero al segundo periodo.

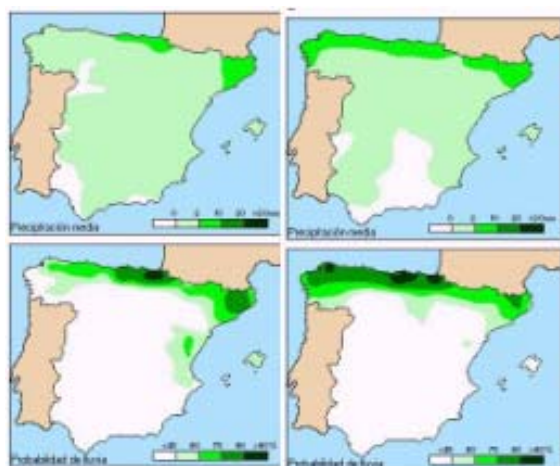


Fig. 7. Distribución espacial de las precipitaciones asociadas con la muestra de casos que integran los últimos 5 *PSOs* -9,7% de la muestra-, periodo 1957-1976 (izquierda), y los 4 últimos *PSOs* -10,03% de la muestra-, periodo 1977-1996 (derecha)

Por último, se ha establecido la comparación, entre ambos periodos, de los casos aislados, no integrados en los *PSOs*, que, por su baja probabilidad de ocurrencia, pudieran estar relacionados con la ocurrencia de condiciones meteorológicas extremas. Tanto la cantidad media como la probabilidad de ocurrencia de precipitación ha aumentado claramente bajo este tipo de situaciones poco frecuentes, en especial en la mitad norte peninsular (Fig. 8). Este resultado podría ser consistente con un cierto aumento de los episodios pluviométricos extremos en las últimas décadas en las latitudes medias y altas del hemisferio norte.

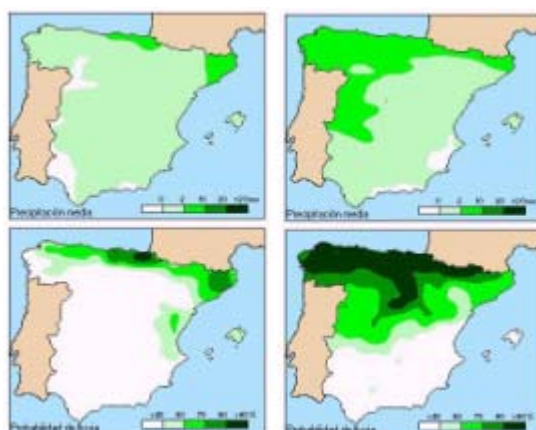


Fig. 8. Distribución espacial de las precipitaciones asociadas con el número de casos de situaciones sinópticas no comprendidas en los *PSOs*. Izquierda: 19 casos (periodo 1957-1976). Derecha: 20 casos (periodo 1977-1996)

4. CONCLUSIONES

Los Procesos Sinópticos Objetivos, que constituyen un procedimiento de clasificación sinóptica objetiva a partir de la presión en superficie y la altura geopotencial de 500 hPa, y dinámica, al considerar el día de análisis junto con el precedente y el siguiente, han permitido determinar 23 y 19 tipos, o *PSOs*, para los bimestres julio-agosto, de los periodos 1957-1976 y 1977-1996, respectivamente, así como las fechas no integradas en ningún tipo.

Los resultados de la aplicación de los *PSOs* apuntan a que los patrones de circulación más frecuentes en verano en Europa occidental han reforzado su carácter anticiclónico sobre la Península Ibérica durante el periodo más reciente, lo que explicaría una tendencia a la disminución de la precipitación en su mitad norte. Tal variación en los patrones sinópticos es razonable contemplarla como una señal del cambio climático.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo quieren agradecer la contribución de los datos reticulares de precipitación diaria de 202 puntos aportados por el Instituto Nacional de Meteorología (España). También el agradecimiento al *National Center Atmospheric Research* (NCAR) y al *National Center Environmental Prediction* (NCEP), por los datos diarios de *Psup* y *H500*, con una resolución de 2,5 grados del periodo 1957-1996. El trabajo se encuadra en el marco del proyecto REN2001-2865-C02-01/CLI, del grupo consolidado 2001SGR-00040 y de las actividades del Parc Científic (Universidad de Barcelona).

6. REFERENCIAS

- CAPEL MOLINA, J.J. (2000). *El clima de la península Ibérica*. Ariel, Barcelona.
- FERNÁNDEZ A. y DÍAZ, Y. (2003). *Catálogo de los Procesos Sinópticos en el Archipiélago cubano*. 171 pp.
- FERNÁNDEZ A. *et al.* (2003). "Aplicación de los Procesos Sinópticos Objetivos a la Península Ibérica". *Investigaciones Geográficas*, 31, pp. 33-52.
- FERNANDEZ A. *et al.* (2004). "Climatología sinóptica de la distribución mesoescalar de las precipitaciones, en varios polígonos del territorio de Cuba". *CD-Memorias de la Convención Trópico 2004*, Ciudad de La Habana, 15 pp.
- GALÁN, E.(1989). *Tipos de tiempo anticiclónicos invernales en la España peninsular y Baleares. Ensayo metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1405 pp.
- HIDY, G.M. (1988). "Scientific considerations for empirical determination of regional source-receptor relationships". *Atmospheric Environment*, 22, pp. 1801-1820.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001*. Synthesis Report. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- LINÉS, A. (1981). *Perturbaciones típicas que afectan a la península Ibérica y precipitaciones asociadas*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- MARTÍN VIDE, J (1991). *Mapas del tiempo: fundamentos, interpretación e imágenes de satélite*. Oikos-tau, Vilassar del Mar, 170 pp.
- MARTÍN VIDE, J.(2002). Aplicación de la clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison a días de precipitación torrencial en el este de España. En; CUADRAT, VICENTE y SAZ (Eds.). *La*

- información climática como herramienta de gestión ambiental*. Universidad de Zaragoza y Asociación de Geógrafos Españoles, pp. 123-127.
- RASILLA, D.(2003). "Aplicación de un método de clasificación sinóptica a la Península Ibérica". *Investigaciones Geográficas*, 30, pp. 27-45.
- SORIANO, C.; FERNÁNDEZ A. y MARTÍN-VIDE (2004). "Sobre el uso de los procesos sinópticos objetivos y los modelos meteorológicos a alta resolución para el estudio de los patrones circulatorios atmosféricos a escala regional". *CD-Memorias de la Convención Trópico 2004*, Ciudad de La Habana, 15 pp.
- TURNER, M.G.; DALE, V.H. y GARDNER, R.H. (1989). "Predicting across scale: theory development and testing". *Landscape Ecology*, 3, pp. 245-252.
- YARNAL, B (1993). *Synoptic climatology in environmental analysis*. Belhaven Press, London and Florida, 195 pp.