

Cambios observados en los tipos de tiempo

Rafael Ancell, Mainer Bermejo y Luis Miguel Oviedo

AEMET, Delegación Territorial de Cantabria

Introducción y Motivación

La variabilidad observada en los fenómenos meteorológicos, tiene su origen en los cambios en el estado de la atmósfera y, por lo tanto, las alteraciones observadas en dichos fenómenos no son sino un efecto de alteraciones en la variabilidad de la atmósfera; como por ejemplo, las que se derivan de cambios en su composición (Lamb H. H., 1977 y Díaz H. F., 1981). Desde este punto de vista, el objetivo principal de este trabajo es el estudio y descripción de los cambios en la variabilidad de la atmósfera a escala diaria con la finalidad de entender mejor la compleja interrelación que existe entre determinados forzamientos climáticos y sus posibles efectos en la escala local.

La obtención de tipos de tiempo se basa en algoritmos capaces de diferenciar situaciones meteorológicas, definidas por parámetros de circulación y/o por los fenómenos observados. Aunque no es la primera vez que se llevan a cabo este tipo de estudios (la bibliografía es muy extensa y antigua, ver por ejemplo: Bardossy A. and Caspary H. J., 1990 o Pastor M. A., Casado M. J., Doblás-Reyes F.J., – in Press–; Petisco de Lara, S. E., 2008), en este trabajo se pretende ofrecer una nueva perspectiva del problema. Para ello, hemos utilizado técnicas automáticas de clasificación sobre el conjunto de campos y niveles estándar que definen el estado de la atmósfera a escala diaria, para el dominio que corresponde a la España peninsular y Baleares (definido en la Fig. 1). De esta manera, se puede comprimir la variable estado de la

atmósfera en un escalár discreto –variable que denominaremos TT (Tipo de Tiempo)–, que nos permitirá analizar de manera eficiente, no solo los cambios en su distribución de probabilidad, sino además, estudiar de forma conjunta los cambios en la intensidad de diferentes fenómenos asociados con cada estado de TT; concretamente hemos realizado el estudio para temperaturas extremas y precipitación. Para obtener información detallada y actual acerca de la generación de tipos de tiempo, se recomienda visitar URL1 (ver referencias).

Dominio y Datos Utilizados

Muchas de las conclusiones que se derivan de este trabajo se apoyan en los resultados del estudio comparativo entre dos periodos recientes: 1957-1979 y 1980-2002. Para ello, se han utilizado, de forma conjunta, datos de reanálisis, procedentes de Modelos de Circulación Atmosférica (MCA), y registros históricos de observaciones en superficie. Las especificaciones de ambas bases de datos son las siguientes:

Los MCA simulan periódicamente los valores de las variables atmosféricas en determinados puntos de una rejilla tridimensional, como la asociada al dominio de la figura 1. Concretamente para este estudio, hemos utilizado la base de datos ERA40 de Reanálisis del Modelo del Centro Europeo ECMWF, que proporciona datos del estado de la atmósfera cada 6h, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 1957 y el 30 de agosto de 2002, con una resolución horizontal de 1° aproximadamente. La lista de variables que hemos empleado se detalla en la Tabla 1; se puede encontrar más información en URL2 (ver referencias).

Por otro lado, hemos utilizado series de datos diarios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, procedentes de la red de observaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), para el mismo periodo y en el mismo dominio que los datos ERA40.

Metodología

De todas las series disponibles, hemos seleccionado aquellas que tienen al menos un 50 % de datos en cada uno de los dos periodos anteriormente citados. Además, para satisfacer unas mínimas exigencias de homogenei-

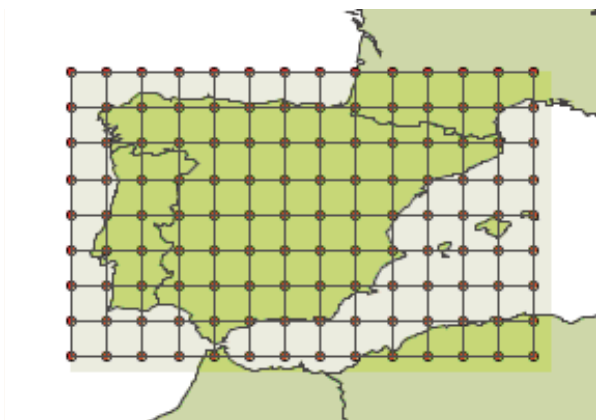


Figura 1: Malla y dominio de estudio.

dad (Buishand T., 1982; Conrad V. and Pollack L. D., 1962), seleccionamos aquellas estaciones cuya variabilidad está mejor relacionada con la variabilidad del estado de la atmósfera. Para llevar a cabo esta tarea, hemos elegido un método muy sencillo, que consiste en evaluar la calidad de las predicciones de temperaturas y precipitación (obtenidas a partir de la mediana de 30 situaciones atmosféricas análogas utilizando ERA40) eliminando aquellas estaciones cuyo error cuadrático medio queda por encima del valor de su mediana en cada una de las 11 cuencas hidrográficas del dominio. De esta forma, hemos seleccionado finalmente 1952 series de precipitación y 456 series de temperaturas extremas (ver Fig. 2).

De acuerdo con las pautas marcadas en la introducción, en primer lugar estudiamos, en su conjunto, las alteraciones observadas en las series diarias de temperaturas extremas y precipitación. Para ello, utilizamos las series

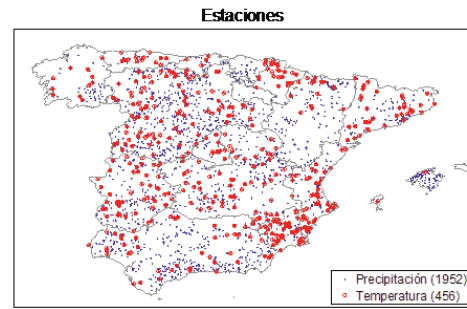


Figura 2: Estaciones utilizadas de la red de AEMET. Termométricas (círculos rojos) y pluviométricas (puntos azules).

de Anomalías Acumuladas (AA), ya que permiten resaltar mejor los cambios en las tendencias (ver Figs. 3 y 4). Estas series se construyen sumando (acumulando) las anomalías (desviaciones respecto de la media) que se producen diariamente. Para comprender mejor lo que muestran estas series de AA, hay que tener en cuenta que siempre empiezan y acaban en cero, ya que al ser anomalías, su suma total debe ser nula, su pendiente positiva/negativa nos indica si el valor de la magnitud está/no está por encima de la media y su concavidad/convexidad indica si la magnitud está aumentando/disminuyendo.

Campos directos extraídos del reanálisis	MSLP	Presión al nivel del mar	Variables de superficie	Horas (00,06,12,18)
	2T	Temperatura a 2 metros		
	2D	Punto de rocío a 2 metros		
	10U	Componente E del viento a 10 metros		
	10V	Componente N del viento a 10 metros		
	TCW	Columna total de agua	Variables integradas	
	TCWV	Columna total de vapor de agua		
	T	Temperatura	Variables de nivel:	
	Z	Altura geopotencial		
	R	Humedad relativa		
	Q	Humedad específica		
	U	Viento componente E		
	V	Viento componente N		
	D	Divergencia		
PV	Vorticidad potencial			
VO	Vorticidad relativa			

Tabla 1: Variables del Reanálisis ERA40 utilizadas para clasificar los Tipos de Tiempo.

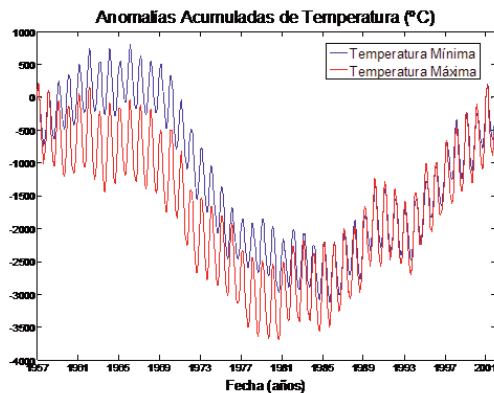


Figura 3: Anomalías Acumuladas de temperatura máxima (en rojo) y mínima (en azul) para el periodo ERA40

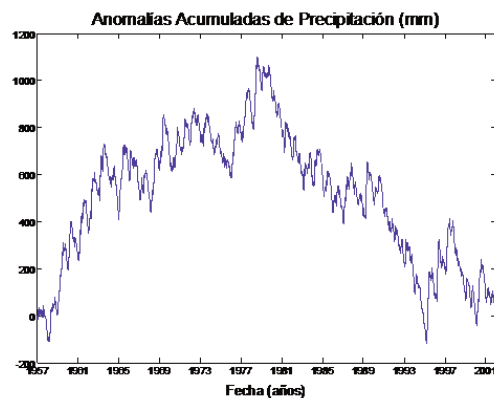


Figura 4: Anomalías Acumuladas de precipitación diaria para el periodo ERA40.

En las Figuras 3 y 4 se pueden distinguir periodos con comportamientos bien diferenciados en las temperaturas máxima y mínima y en la precipitación, respectivamente. Aunque para posteriores estudios, se pueden plantear divisiones más elaboradas, como primer paso, hemos considerado el caso más sencillo, dividiendo la serie en dos periodos, cuyo comportamiento es significativamente distinto y, además, son de longitud similar: 1957-1979 y 1980-2002.

En este trabajo pretendemos analizar el comportamiento de la atmósfera a escala diaria. Para ello, hemos

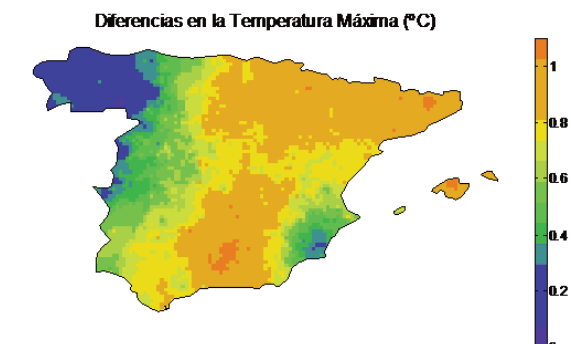


Figura 5: Mapa interpolado de diferencias en la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$).

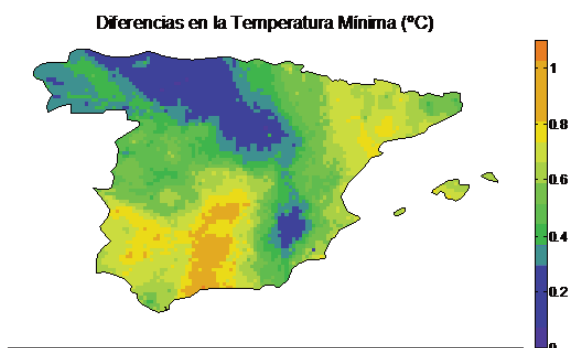


Figura 6: Mapa interpolado de diferencias en la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$).

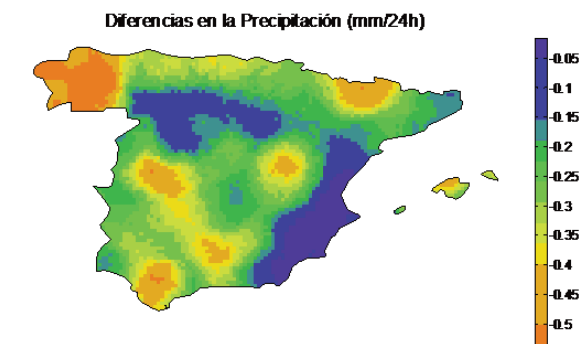


Figura 7: Mapa interpolado de diferencias en la precipitación (mm/24h).

realizado una clasificación objetiva de los estados atmosféricos, definidos por el conjunto de los campos y niveles estándar proporcionados por ERA40 en el dominio seleccionado. Los patrones diarios que resultan son de elevada dimensión, ya que están formados por 244 variables (ver Tabla 1) en cada uno de los 15×9 nodos que delimitan el dominio, por lo que, para poder manejarlos de forma eficiente y realista, hemos utilizado la técnica de Componentes Principales (Preisendorfer R. W. and Mobley, C. D., 1988), reduciendo la dimensión del patrón a 50, conservando el 95% de la varianza dentro del dominio. Una vez hecho esto, hemos utilizado el algoritmo k -medias (Anderberg M. R., 1973), cuyo objetivo es minimizar globalmente la distancia intra-clases, para clasificar el estado de la atmósfera en k dases. El centroide de cada una de estas clases representa al grupo de estados de la atmósfera considerados afines, de acuerdo con la métrica utilizada en el algoritmo, y, aunque no es real, se puede considerar como un Tipo de Tiempo (TT) (ver Figs. 8 y 9). A veces es necesario disponer los TTs de forma ordenada, en cuyo caso, la clasificación se puede realizar utilizando un algoritmo diferente, denominado SOM (*Self-Organizing-Maps*, Kohonen T., 1997), que es una extensión de k -medias, en la cual los centroides deben organizarse entre sí según un segundo criterio de analogía.

Para reflejar mejor la variabilidad del estado de la atmósfera a escala diaria, interesa que haya muchos TTs diferentes, pues cuantas más clases haya, mejor representado estará cada estado real de la atmósfera por su correspondiente TT. Sin embargo, al mismo tiempo, también es necesario que las clases estén suficientemente pobladas como para realizar un análisis estadístico robusto, lo cual requiere que no haya demasiadas clases. Dada la longitud de las series disponibles y la escala espacio-temporal del dominio, se han probado diferentes valores de k , obteniendo para $k=100$ el mejor compromiso entre los requerimientos anteriores.

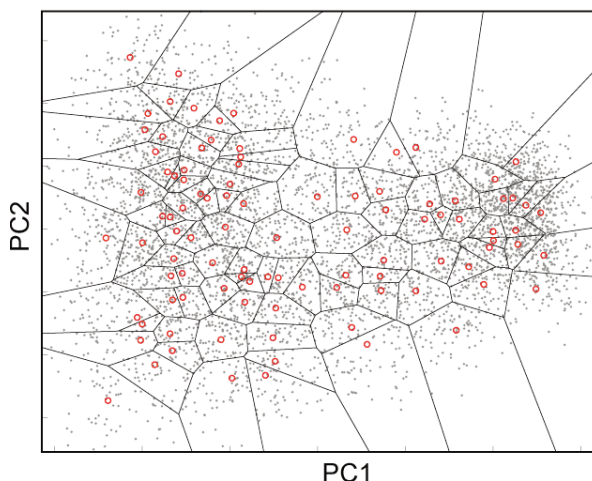


Figura 8: Clasificación de los estados atmosféricos en 100 TTs utilizando k -medias. Los círculos rojos son el centroide de cada clase. PC1 y PC2 son las dos 1as componentes principales

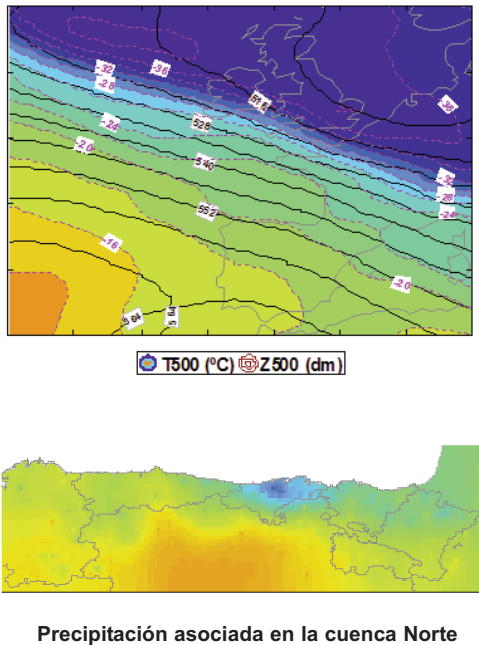


Figura 9: Cada uno de los TTs queda descrito por el centroide. En el ejemplo se muestra T500, Z500 y la precipitación asociada.

Una vez identificados, los TTs son muy útiles para obtener información adicional. Ésta puede ser clasificada básicamente en tres grupos (Ansell R. & Gutiérrez, J.M., 2008), según esté relacionada con:

- La probabilidad de ocurrencia de cada uno de los TTs, que está directamente asociada con el número de estados reales de la atmósfera que lo definen.
- Los estadísticos (percentiles, medias, extremos, etc.) de las variables que se pueden extraer de cada TT.
- La probabilidad de transición de un TT a otro (no se contempla en este trabajo, ver Ansell R. & Gutiérrez, J.M., 2008).

De todos estos aspectos, nos hemos centrado principalmente en las alteraciones, tanto en la probabilidad de ocurrencia de los TTs, como en la intensidad de los fenómenos asociados a cada TT. Para este propósito, hemos analizado los cambios en cada uno de los 100 TTs considerados.

Resultados

No es el objetivo principal de este trabajo el dar una explicación detallada de los numerosos y variados resultados obtenidos, sino más bien dar una descripción general con la intención de profundizar en el tema en posteriores investigaciones.

En primer lugar, hemos estudiado los cambios en las observaciones meteorológicas, y aunque no es la primera vez que se realiza (ver p.e. Brunet M. et al., 2007), esta parte del estudio añade la precipitación, además de las temperaturas extremas, comparando únicamente los citados periodos de interés. Así, en las Figuras 5 a 7 se muestran las diferencias observadas respecto del primer periodo, de forma que valores positivos/negativos indican un aumento/disminución en la magnitud de cada variable. En las Figuras 5 y 6 observamos que, a partir de 1980, se produjo un aumento generalizado de las temperaturas extremas, más acusado en la vertiente mediterránea. Sin embargo, en el caso de la precipitación (ver Fig. 7), se produjo una disminución también generalizada a todo el dominio, aunque claramente menos acusada en Levante y la Meseta Norte, donde se mantuvieron prácticamente sin cambios.

Hasta aquí, la comparativa muestra, de forma global, la distribución espacial de los cambios constatados.

Ahora veremos cómo se comportan las tres variables en función de los TTs.

En el panel superior de las figuras 10 a 12, se representan, respectivamente, los cambios medios en las máxi-

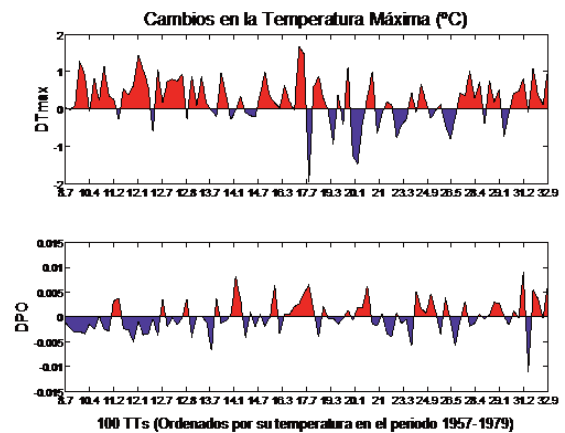


Figura 10: Diferencias constatadas en cada TT; arriba la temperatura máxima en °C (DTmax) y abajo probabilidad de ocurrencia (DPO).

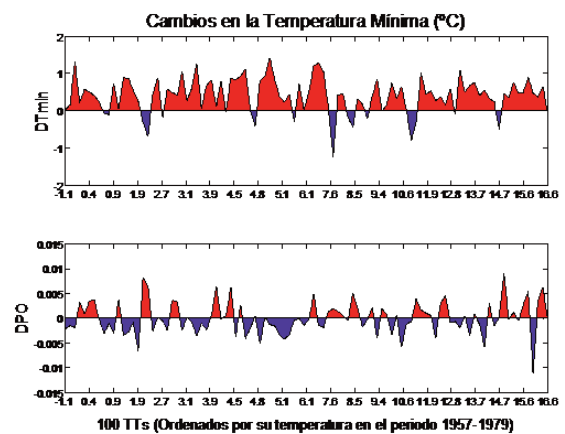


Figura 11: Diferencias constatadas en cada TT; arriba la temperatura mínima en °C (DTmin), y abajo probabilidad de ocurrencia (DPO).

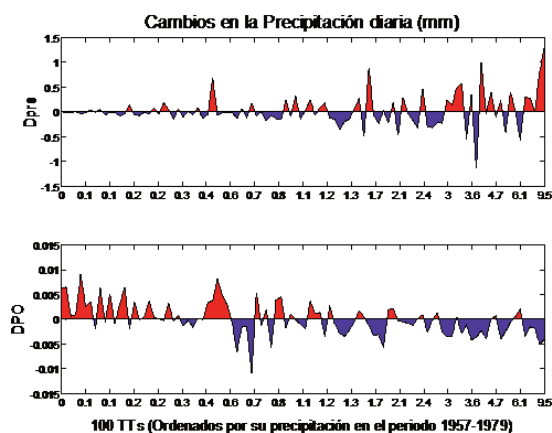


Figura 12: : Diferencias constatadas en cada TT; arriba la precipitación en mm/24h (Dpre), y abajo probabilidad de ocurrencia (DPO).

mas, mínimas y precipitación para cada TT; siempre del segundo periodo (1980-2002), respecto del primero (1957-1979). Y en el panel inferior de las mismas, los cambios en la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los TTs. Además, en ambos paneles, los TTs están ordenados según la intensidad del fenómeno en el primer periodo: 1957-1979, de manera que los TTs extremos fríos/secos quedan a la izquierda y los TTs extremos cálidos/húmedos aparecen a la derecha.

En los paneles superiores de las figuras 10 y 11, se puede comprobar que la mayoría de los TTs aumentaron su temperatura, siendo el incremento algo más acusado en los TTs fríos (situados en la mitad izquierda). Además, la probabilidad de ocurrencia de los TTs cálidos aumentó, mientras que la frecuencia de los TTs con temperaturas más bajas disminuyó; este comportamiento también se puede extender a los TTs asociados a temperaturas extremas (percentiles <5 y >95).

En la figura 12, vemos que la precipitación media diaria disminuyó de forma generalizada en todo el dominio. Y, aunque la magnitud del cambio fue inferior a la de la temperatura, podemos decir que llovió de forma claramente diferente en ambos periodos, puesto que casi todos los TTs secos aumentaron su frecuencia, mientras que prácticamente todos los tipos de tiempo húmedos la redujeron, como se puede constatar en el panel inferior de la figura 12. Esto coincide con las conclusiones de otros trabajos realizados anteriormente (Bardossy A. and Caspary H. J., 1990). Por otra parte, hemos constatado que numerosos TTs mantuvieron o aumentaron su capacidad para generar precipitación, especialmente los más lluviosos (ver panel superior de la figura 12), coincidiendo con la atmósfera más cálida del segundo periodo.

Este último resultado no contradice los anteriormente expuestos en la figura 7, ya que, aunque los TTs más lluviosos aumentaron la intensidad de su precipitación, disminuyeron su probabilidad de ocurrencia, lo que, en cómputo general, produjo una disminución de la precipitación global.

Este trabajo se ha realizado dentro del programa de becas de formación de post-graduados de AEMET: proyecto nº 7, denominado 'Adaptación de métodos de downscaling estadístico a escalas de tiempo climáticas en la Cornisa Cantábrica'.

Referencias

- Ancell R., Gutiérrez, J.M., (2008), *High resolution probabilistic forecast using Bayesian networks*. EMS Annual Meeting 2008. European Conference on Applied Climatology (ECAC)
- Anderberg M. R., (1973), *Cluster Analysis for Applications*, Academic Press, New York.
- Bárdossy A. and Caspary, H. J. (1990), *Detection of Climate Change in Europe by Analyzing European Atmospheric Circulation Patterns from 1881 to 1989*, *Theoretical Applied Climatology* 42, 155-167.
- Brunet M., et al. (2007), *Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005*. *J. Geophys. Res.* 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.
- Buishand T. (1982), *Some methods for testing the homogeneity of rainfall records*. *Journal of Hydrology*, 58, pp:11-27.
- Conrad V. and Pollack L. D. (1962), *Methods in Climatology*, vol. 4.2 Harvard University Press.
- Diaz H. F., (1981), *Eigenvector analysis of seasonal temperature, precipitation and synoptical-scale frequency over the contiguous United States*. Part II: Spring, summer, fall and annual. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 1285-1304.
- Gutiérrez J.M., Cano, R., Cofiño A.S., Sordo, C.M. (2004) *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas*, Series Monográficas de AEMET.
- Kohonen, T., (1997) *Exploration of very large databases by self-organizing maps*, IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN 97), Houston, June 09-12, 1997.
- Lamb H. H., (1977), *Climate, present, past and future*. Vol. 2: Climatic History and the Future. London Methuen & Co, 835 pp.
- Pastor M. A., Casado M. J., Doblas-Reyes F.J., (in Press), *Climate model validation in the Euro-Atlantic domain using circulation Types*", Nota Técnica nº 4 AEMCC de AEMET
- Petisco de Lara, S. E., (2008), *Método de regionalización de precipitación basado en análogos. Explicación y Validación*, Nota Técnica nº 3A AEMCC de AEMET
- Preisendorfer R. W. and Mobley, C. D., (1988), *Principal component analysis in meteorology and oceanography*, Elsevier, Amsterdam.
- URL1: http://www.cost.esf.org/domains_actions/essem/Actions/Weather_Types_Classifications
- URL2: <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-40>