

# ANÁLISIS DE LA TENDENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN LOS MESES DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL EN EL TERRITORIO PENINSULAR DE ESPAÑA

V. Mossmann<sup>1</sup>, A. Castro<sup>2</sup>, J. L. Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Exatas e Tecnologia/Universidade de Caxias do Sul/Brasil

<sup>2</sup>Fac. de Ciencias Biológicas y Ambientales. U. de León

<sup>3</sup>Lab. Física de la Atmósfera. Instituto de Medio Ambiente. U. de León

## Resumen

Los objetivos de este artículo se centran en llevar a cabo un análisis regional para determinar las partes de España continental que muestran cambios, estadísticamente significativas, de la precipitación en los meses de febrero, marzo y abril, y evaluar el año en torno al cual comenzaron a detectarse estos comportamientos. Después de que algunos procesos de la selección anteriores, se aplicó el test denominado de Mann-Kendall a la serie completa de datos mensuales que corresponden a 333 estaciones pluviométricas repartidas por la España continental. El primer periodo estudiado comprende desde 1961 hasta 1990. Los resultados muestran una tendencia estadísticamente significativa que revela una disminución en la proporción de la precipitación en amplias zonas de la España continental. Se han llevado a cabo dos análisis adicionales para comprobar la validez de los resultados. Para ello el periodo de estudio se amplió hasta 1998 y además se analizaron las situaciones sinópticas que intervienen en los procesos que favorecen o impiden la aparición de los frentes atlánticos.

## Summary

The aims of this paper are the following: carry out a regional analysis to determine the parts of continental Spain with recent precipitation trends in February March and April, the data series and to calculate the approximate date of the beginning of the climatic change and evaluate the change. After some previous selection processes, the Man Kendall test has been applied to the complete series of monthly data corresponding to 333 rainfall stations all over continental Spain. The study period ranges from 1961 to 1990. The results show a statistically significant trend revealing a decrease in the precipitation rate in wide areas of continental Spain. Two additional analysis have been carried out to improve the validity of the results: the study period was extended, and the Man Kendall test was applied to the precipitation series between 1961 and 1998 and the synoptic situations that may influence this change have also been analysed.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el incremento de las observaciones y el desarrollo de la tecnología de la instrumentación meteorológica, el análisis de los elementos climáticos y la caracterización del sistema climático ha permitido establecer niveles de referencia y detectar posibles cambios más o menos recientes.

Para detectar cambios climático tenemos que analizar las observaciones de algunas variables climáticas: temperatura, precipitación, nieve, cubierta de hielo, nivel del agua del mar, circulación atmosférica, fenómenos extremos, etc. Además, hay que tener en cuenta que las medidas de estas variables, lo que comúnmente se llaman observaciones, las podemos hacer a diferentes escalas temporales o espaciales, lo que nos conduce a introducirnos en nuevas dificultades.

Está claro que se necesitan series temporales de precipitación fiables para el análisis y detección de las tendencias. Disponer de series temporales homogéneas de elementos del tiempo es esencial para el análisis de variaciones y cambios climáticos. Respecto a las series de precipitación, para detectar tendencias reales es importante que las inhomogeneidades sean detectadas y que las series no homogéneas sean excluidas del estudio, o bien, corregidas. Pero el problema no acaba aquí puesto que las tendencias climáticas interfieren con las variaciones de origen no climático creando inhomogeneidades. Por tanto es importante usar técnicas que discriminen datos que contienen variaciones y tendencias climáticas de aquéllos que presentan variaciones no climáticas.

Cambios abruptos en los valores medios de las series de precipitación se suelen asociar a cambios de instrumentación, a cambios en los procesos de observación o a un nuevo emplazamiento de la estación meteorológica, (Karl and Williams 1987, Hanssen-Bauer and Forland, 1994). Este tipo de cambios se conocen como “saltos” (Vincent, 1998) y son los responsables de producir inhomogeneidades normalmente fácilmente detectables con test no demasiado sofisticados. Sin embargo, las “tendencias” son cambios graduales en el tiempo de incremento o disminución de la variable estudiada asociados habitualmente a factores climáticos.

No obstante hay ocasiones en que pequeños saltos en las series son asociados con cambios en las tendencias. Es estos casos la eliminación de las series con este tipo de peculiaridades o la corrección de los saltos conduce a una estimación inapropiada de las tendencias de las precipitaciones. Se necesita por tanto un modelo discriminador que obtenga y pruebe las tendencias en las precipitaciones. Una forma de detectar tendencias en las precipitaciones se basa en la confiabilidad de las series temporales de precipitación.

Por tanto una vez efectuadas las consideraciones anteriores, nos hemos planteado realizar los siguientes objetivos:

1. Efectuar un análisis regional que estime las zonas de España en las que se detectan tendencias recientes en las series de precipitación.
2. Estimar en torno a que año comienzan los cambios y hacer una estimación del cambio.

## **2. BASES DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y CONSTRUCCIÓN DE LAS SERIES DE OBSERVACIONES PARA LOS MESES DE FEBRERO, MARZO Y ABRIL EN EL PERIODO DE 1961-1990**

La variabilidad de las series de datos climáticos hace necesario que para que el periodo de tiempo sea representativo, los datos deben obedecer a una “regla común”. Esto se traduce en que podamos hacer mención a ella y establecer las conclusiones observadas (p.e. la temperatura media, la precipitación media estacional o anual, etc.). En el caso de las precipitaciones la variabilidad natural puede llegar a ser considerable. En estudios climatológicos relativos a la precipitación total se asume que periodos de 30 años pueden llegar a ser representativos. La Organización Mundial de Meteorología (O. M. M.) en la Conferencia de Varsovia de 1935 (Jansá, 1969) recomendó tomar periodos de 30 años, comenzando cada treinteno por un año terminado en 1. Además, recomendó también que se utilizaran las series más largas disponibles. En nuestro caso hemos tomado un periodo de tiempo reciente: el comprendido entre 1961 a 1990.

Inicialmente pudimos disponer de las series de datos digitalizados de precipitación mensual correspondientes a 1500 observatorios meteorológicos, obtenidas a partir de los datos de precipitación mensual acumulada en el periodo de 1961 a 1990.

Al imponerles la condición de que las series de precipitación mensual estival de cada estación estuvieran completas o casi completas el número de observatorios elegidos descendió

a 345. El territorio al que nos vamos a referir es el de la España peninsular por lo que la extensión es de unos 500.000 km<sup>2</sup>. Con las 345 seleccionadas contamos, inicialmente, con series de una estación por cada 1600 km<sup>2</sup> aproximadamente.

Como había series que se encontraban incompletas, fue necesario establecer un método de interpolación. De entre los que presenta la bibliografía nos decidimos por el de Paulhus and Kohler, (1952) que ha sido utilizado por numerosos autores, (Young, 1992).

Para minimizar los riesgos de confundir una serie con una tendencia por causas climáticas con otra que presenta saltos debido a causas no climáticas, decidimos emplear un test de homogeneidad no paramétrico y no muy sofisticado con un nivel de significación amplio. Este filtro a los datos, ha permitido establecer series de datos que, como veremos más adelante, conservan una tendencia. Esta es la razón por la que se utilizó el test de Kruskal-Wallis (Essenwanger, 1986) con un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0,05$ ), lo que teniendo en cuenta que cada serie consta de 30 datos, significa que el valor umbral del estadístico H para aceptar la hipótesis nula es de 42,56.

En este punto vamos a asumir que:

- ✓ Las series que han pasado favorablemente el test de Kruskal Wallis presentan una variabilidad de origen climático.
- ✓ La posible no aleatoriedad de los datos de las series pluviométricas permite establecer una posible tendencia de origen climático.

La cuestión ahora estriba en responder a la pregunta, ¿cómo encontrar el carácter no aleatorio de las series de las 333 estaciones seleccionadas?. Es decir ¿tienen las series de datos alguna tendencia que pueda ser estadísticamente significativas? En el caso de que se verificaran que algunas series tienen tendencia ¿se podría determinar hacia que años comienza esta tendencia?

La existencia de una tendencia nos señala que la serie no contiene observaciones aleatorias sino que los datos tienen una cierta dependencia entre ellos, pero, ¿cuál es esa dependencia?

Hemos utilizado el test de Mann Kendall pues se ha hecho en base a una serie de ventajas: es un test no paramétrico; se puede utilizar para evidenciar la existencia de una tendencia en la serie; no tiene una complejidad matemática excesiva y el programa de cálculo necesario se puede desarrollar en LINUX con cierta facilidad, además de probar la posible existencia de una tendencia, a partir de la serie formada con el estadístico  $U(t)$  y de la serie retrógrada, se puede determinar el punto (en nuestro caso el año) en torno al cual aparece la tendencia, lo cual es una ventaja enorme frente a otros test que no aportan esta información; el test rechaza calificar a una serie con tendencia estadísticamente significativa a no ser que ésta permanezca hasta la finalización del periodo de estudio. Con ello se evita que puedan aparecer subperiodos o ciclos cortos que se confundan con una tendencia de toda la serie.

Este test ha sido utilizado por algunos autores (Lettenmaier et al., 1994, Hirsch et al., 1982, Hirsch and Slack, 1994, Dietz and Killen, 1981) para analizar la tendencia de series climatológicas. La potencia de este Test de Mann-Kendall es muy elevada ya que indica que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando existe una tendencia es tan alta como la que daría un test paramétrico. Si bien al tratarse de un test no paramétrico no es preciso conocer a priori la distribución a las que obedecen los datos de la serie analizada. Hemos aplicado el método de análisis de tendencias a todos los observatorios.

La tabla I representa el número de estaciones pluviométricas que tengan registrado tendencias crecientes y tendencias decrecientes estadísticamente significativas en los meses de febrero, marzo y abril para los periodos respectivos de 1961-1990 y 1961-1998. Además indica los valores promedios:

- de la altitud expresada en m;
- del año de inicio de la tendencia;

- de la precipitación media expresada en mm
- de la pendiente de la recta, que relaciona la precipitación, y su evolución temporal expresada en mm/mes, respectivamente en los meses de febrero, marzo y abril.

Tabla I - Número de observatorios con tendencia positiva y negativa con los respectivos valores promedios de la altitud, año de inicio de la tendencia, precipitación media, y la pendiente de la recta ajustada para los meses de febrero, marzo y abril.

<b>Periodo</b> <b>61-90</b>	<b>Tendencias</b>	<b>Nº de</b> <b>Observ.</b>	<b>Altitud</b> <b>(m)</b>	<b>Año</b>	<b>Precip.</b> <b>(mm)</b>	<b>Pendiente</b> <b>(mm/periodo)</b>
<b>Febrero</b>	<b>Negativas</b>	8	681	1985	56.7	-1.68
	<b>Positivas</b>	2	553	1974	53.9	1,11
<b>Marzo</b>	<b>Negativas</b>	114	713	1982	54.4	-2.10
	<b>Positivas</b>	0	0	0	0	0
<b>Abril</b>	<b>Negativas</b>	0	0	0	0	0
	<b>Positivas</b>	15	728	1981	67.3	1.82

Llama la atención el caso de la serie de precipitación del mes de Marzo ya que muestra una tendencia decreciente estadísticamente significativa para 114 observatorios de los 333 analizados que se inicia a finales de la década de los setenta. La disminución media en Marzo fue de -2.1 mm/año.

En este momento surgen las siguientes preguntas:

- ✓ ¿Cuáles son las razones por las que algunos observatorios presentan series con tendencias estadísticamente significativas?
- ✓ El comportamiento de ellas, ¿es un hecho aislado espacialmente, obedeciendo a razones locales o bien tienen un comportamiento a escala regional?

Las respuestas a estas preguntas nos llevan a tener que abordar un análisis de la tendencia en un marco espacial, es decir efectuar un planteamiento que establezca una tendencia referida a “unidades” de superficie y nos conduzca a la creación de superficies delimitadas por contornos creados a partir de criterios que señalen una propiedad común. Es decir, a partir de un conjunto discreto de puntos tenemos que establecer una superficie en la que todos los puntos que tengan una misma propiedad aparezcan unidos por una línea llamada de contorno. En nuestro caso la propiedad es la tendencia pluviométrica establecida por Mann Kendall a través de su estadístico U. Para ello debe establecerse una propiedad métrica que señale la distancia que debe mediar entre los puntos dotados de la misma propiedad. Una vez establecida la métrica a emplear, los contornos definirán las superficies que están dotadas de la misma tendencia en la serie pluviométrica.

Para nuestro caso se eligió el método llamado Kriging (Ripley 1981, Isaaks and Sristava, 1989) ya que tiene la ventaja de que emplea una métrica que permite unir puntos con una misma propiedad, formando superficies pero minimizando la formación de ojos de buey, típicos en métodos como Inverse Distance to a Power y el Modified Shepard’s Method. Básicamente, este método consiste en generar una malla interpolada en la que los valores en los puntos o nodos de ella se han estimado a partir de valores interpolados. El resultado es mostrar en una figura un conjunto de contornos que encierran superficies en la que se asume que hay una tendencia estadísticamente significativa en las series de precipitación mensual para el periodo analizado.

Del análisis de los mapas de superficie con contornos de tendencia podemos concluir: destacando con mucho el mes de Marzo en el que amplias zonas de la España “seca” occidental se ven afectadas por este hecho...

### 3. NUEVA BASE DE DATOS: 1961 A 1998.

Como se han determinado las áreas que presentan tendencias en las series pluviométricas, llegado a este punto parece razonable realizar dos preguntas:

1. ¿Las áreas con tendencia se mantienen a lo largo del tiempo?
2. ¿Cuales son las causas que generan estos cambios?

Para contestar a la primera pregunta deberemos extender las series de datos hasta donde sea posible. El INM nos ha facilitado datos digitalizados de los años 1991 a 1998 y por ello han quedado las series correspondientes incluidas en el periodo de 1961 a 1998. Para buscar una respuesta a las preguntas planteadas, se procedió a seguir una metodología idéntica a la empleada para el periodo de 1961 a 1990. Por tanto debemos comenzar con el relleno de lagunas conforme al método *normal-ratio*.

De nuevo se aplicó el test de Kruskal-Wallis En esta ocasión superaron el test de homogeneidad 325 estaciones y el resto fueron eliminadas del estudio.

El paso siguiente fue trazar los mapas de tendencia de la precipitación para el periodo 1961 a 1998.

La tabla II representa el número de estaciones pluviométricas que han registrado tendencias crecientes y tendencias decrecientes estadísticamente significativas en febrero, marzo y abril para el periodo 1961-1998. Además indica los valores promedios:

- de la altitud expresada en m;
- del año de inicio de la tendencia;
- de la precipitación media expresada en mm;
- de la pendiente de la recta, que relaciona la precipitación, y su evolución temporal expresada en mm/mes, en los meses de febrero, marzo y abril.

Tabla II - Número de observatorios con tendencia positiva y negativa con los respectivos valores promedios de la altitud, año de inicio de la tendencia, precipitación media, inclinación y precipitación normalizada para los meses de febrero, marzo y abril en el periodo de 1961-1998.

<b>Periodo 61-98</b>	<b>Tendencias</b>	<b>Nº de Observ.</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Año</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>Pendiente (mm/periodo)</b>
<b>Febrero</b>	<b>Negativas</b>	77	661	1988	58.8	-1.62
	<b>Positivas</b>	2	468	1978	28.5	1.13
<b>Marzo</b>	<b>Negativas</b>	192	666	1985	54.2	-1.64
	<b>Positivas</b>	0	0	0	0.0	0.00
<b>Abril</b>	<b>Negativas</b>	4	799	1991	58.7	-0.04
	<b>Positivas</b>	1	1253	1987	142.2	0.02

De acuerdo con la tabla II, el mes de febrero presenta una pendiente media de  $-2.77\%$ , es decir que la precipitación disminuye una media de  $-1.62$  mm/mes. Dos 77 observatorios con tendencia decreciente, 26 (corresponde a 34%).

#### 4. ANÁLISIS COMPARATIVA DE LAS TENDENCIAS DEL PERIODO DE 1961 A 1990 Y DEL PERIODO DE 1961 A 1998

Al ampliar el estudio al periodo 1961-1998, las diferencias estriban en que en la mayor parte de los casos, el territorio afectado por zonas con tendencias estadísticamente significativas, crece o se mantiene. Sin embargo hay dos casos que tienen especial relevancia: en el mes de Febrero aumentó la extensión del territorio afectado por una tendencia negativa en las precipitaciones; en el mes de Marzo, el territorio afectado por una tendencia negativa, estadísticamente significativa, creció hasta afectar a toda la España peninsular excepto las zonas costeras del Mediterráneo y del Cantábrico. A fin de facilitar el análisis e interpretación de resultados, se han representado conjuntamente los mapas de precipitación y de tendencia estadísticamente significativa de los periodos 1961 a 1990 y 1960 a 1998 para los meses de febrero y marzo.

Figura 1 - Mapas de tendencia para el mes de FEBRERO - periodo 1961 a 1990 y 1961 a 1998.

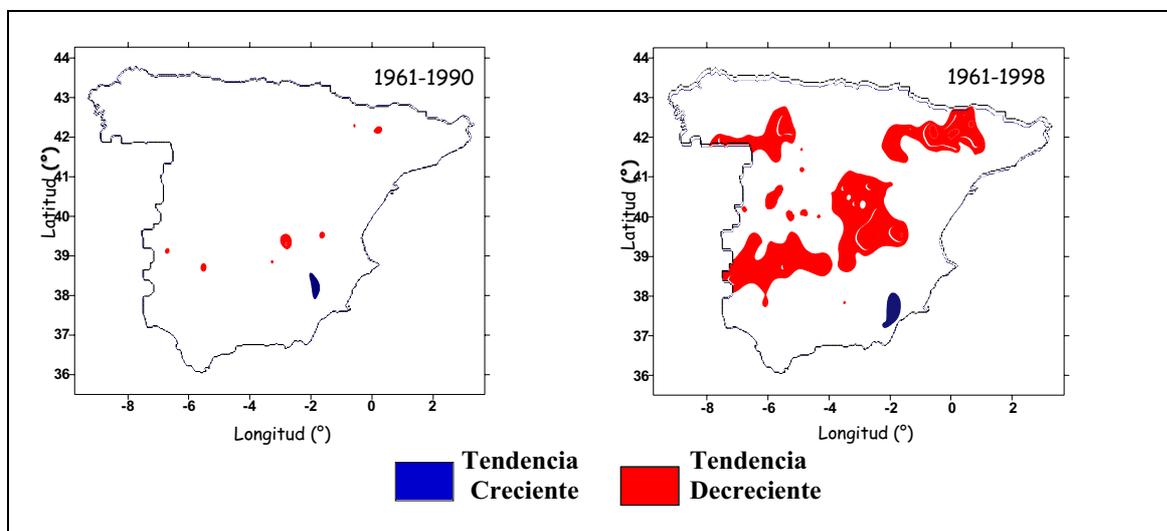
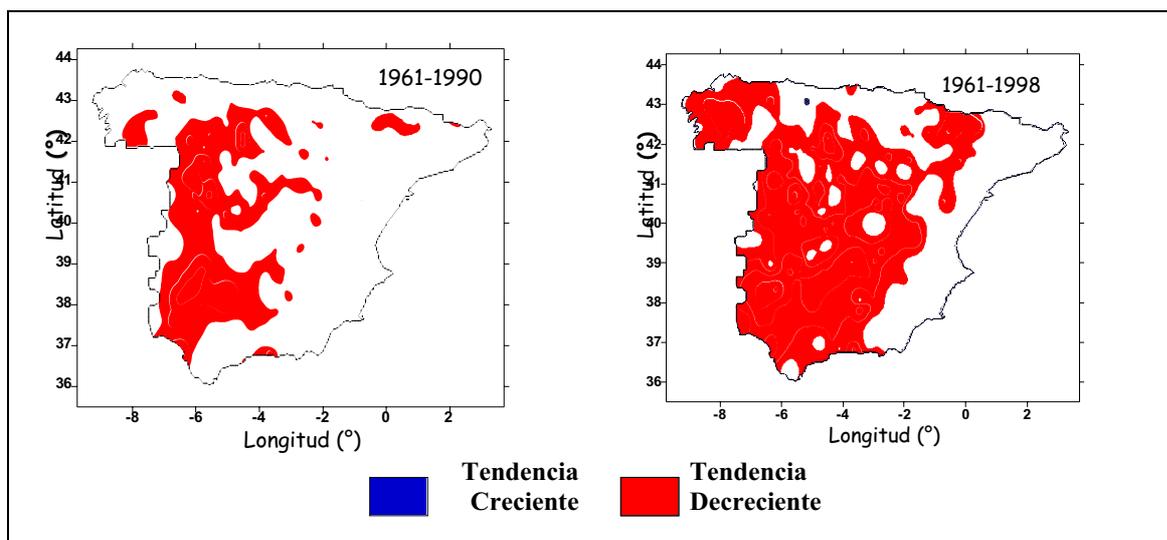


Figura 2: Mapas de tendencia para el mes de MARZO no periodo 1961 a 1990 y 1961 a 1998.



## 5. CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE TIEMPO: CIRCULACIÓN A ESCALA SINÓPTICA

Por un lado, la climatología analítica hace hincapié en el examen de las series de datos y para ello emplea métodos estadísticos al objeto de poder establecer “las reglas” a las que obedece el clima.

Y por otro, la climatología sinóptica centra su atención en el análisis de las situaciones meteorológicas que generan “las reglas” a las que obedece el clima. Por tanto, en esta ocasión la visión del análisis sinóptico permite centrar la atención en la consideración de la sucesión de las situaciones y por tanto se trata de una realidad más dinámica, fruto de la circulación de las masas de aire a lo largo de los hemisferios.

La caracterización de las situaciones meteorológicas a escala sinóptica puede hacerse una vez que se establecen los tipos de tiempo. La OMM (1992) define tipos de tiempo como la distribución particular de los sistemas de presión y las masas de aire sobre una región geográfica determinada, asociados con características típicas del tiempo atmosférico. El análisis de estos tipos de tiempo supone abordar las causas del clima, ya que son fruto de la circulación atmosférica.

Parece razonable pensar que bajo la influencia de una circulación anticiclónica, va a haber un predominio de la estabilidad atmosférica y que sin embargo en condiciones de circulación ciclónica ocurrirá todo lo contrario y en consecuencia los frentes polares podrán entrar con más facilidad hacia la península Ibérica afectando a una parte mayor del territorio.

La evolución en la frecuencia de aparición de las situaciones ciclónicas a 500 hPa puede ser una buena medida de los cambios que se están produciendo. Hay un buen número de autores que ha efectuado análisis de la frecuencia de esta superficie de 500 hPa. Tenemos ejemplos en Zishka and Smith, (1980), Agee (1980, 1982, 1991), Hanssen and Lebedeff (1987, 1988) Parker et al., (1989).

Trabajos anteriores efectuados en el Laboratorio de Física de la Atmósfera de la Universidad de León han señalado que las topografías de 500 hPa y de 300 hPa pueden ser idóneas para poder establecer si la Península Ibérica se encuentra bajo la influencia de una circulación ciclónica o anticiclónica. Sin embargo al acudir a los boletines diarios meteorológicos no ha sido posible acceder –caso de que existan- a las topografías de 300 hPa, razón por la cual nos hemos centrado en la de 500 hPa que siempre estuvo accesible.

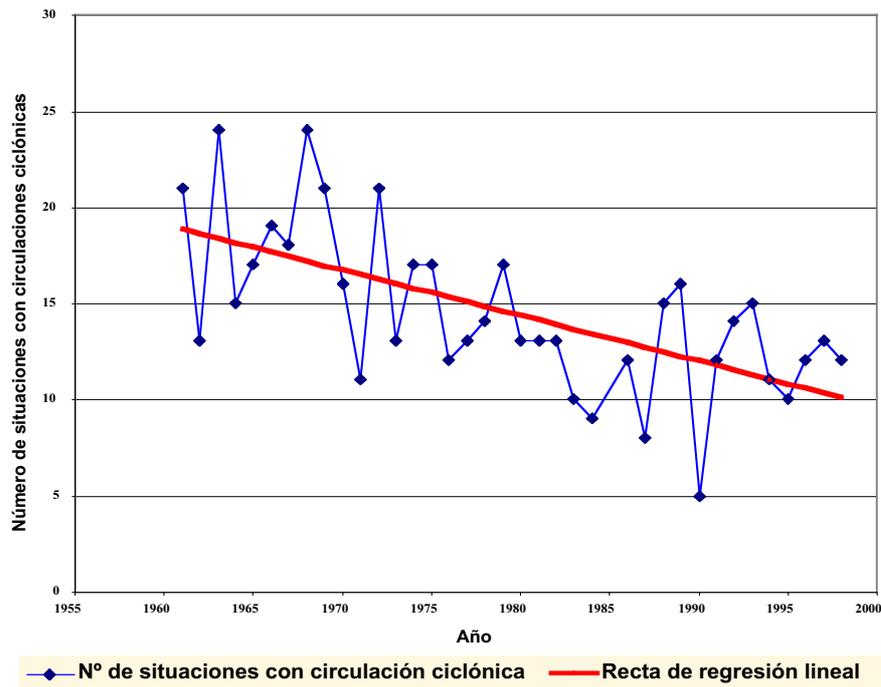
Por ello centramos nuestra atención en las situaciones con circulación ciclónica que afectan a las regiones en donde se han detectado cambios en la tendencia de las precipitaciones y como material de trabajo emplearemos las superficies de 500 hPa de los Boletines Diarios Meteorológicos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología entre los años 1961 a 1998.

Nos centraremos en aquellas situaciones en las que se han detectado áreas con cambios significativos en el mes de Marzo, que es sin duda el que presenta:

- ✓ Un progresivo incremento de la superficie afectada por una tendencia negativa en sus precipitaciones, que además resulta ser estadísticamente significativa.
- ✓ En este mes la precipitación registrada en ese periodo ha ido decayendo de forma que casi tres cuartas partes del territorio tienen tendencia negativa. El mes de Marzo es un mes en el que la precipitación es estratiforme, causada por frentes atlánticos, si bien a partir del mes siguiente comienzan a aparecer precipitaciones de origen convectivo.
- ✓ La precipitación producida en este mes es de gran importancia para los cultivos de secano pues muchos de ellos se encuentran en el periodo de nascencia. Cualquier modificación en la cantidad de precipitación caída tiene consecuencias importantes.

Al analizar las situaciones ciclónicas para cada año, hemos obtenido los resultados que han quedado recogidos en la figura 3.

Figura 3: Evolución temporal del número del situaciones ciclónicas que han afectado a la Península Ibérica en el mês de Marzo durante el periodo de 1961 a 1998.



Como vemos el descenso en las precipitaciones se corresponde con un descenso en el número de situaciones ciclónicas. De hecho esta tendencia es también estadísticamente significativa. La recta ajustada a una recta –que ha resulta ser estadísticamente significativa al 99% - nos muestra una pendiente negativa.

Por tanto podemos concluir que en el caso del mes de Marzo, las situaciones ciclónicas han experimentado un claro descenso que se ha traducido en una menor cantidad de agua precipitada en amplias zonas del territorio español peninsular. Hay una clara relación entre causa y efecto, al menos en este caso, fruto de haber podido estimar el tipo de tiempo que afecta a la península Ibérica de forma acertada.

Parece claro que la caracterización de las situaciones de precipitación estratiforme con la clasificación empleada –circulación ciclónica o anticiclónica- nos permite establecer una relación de causa y efecto en las precipitaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Universidade de Caxias do Sul/Centro de Ciências Exatas e Tecnologia/Departamento de Física e Química y al Laboratorio de Física de la Atmósfera de la Universidad de León

## REFERENCIAS:

- Agee, E.M., 1980: Present climatic cooling and a proposed causative mechanism. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **61**, 1356-1367.
- Agee, E.M., 1982: A diagnosis of twentieth century temperature records at West Lafayette, Indiana. *Clim. Change*, **4**, 339-418.
- Agee, E.M., 1991: Trends in cyclone and anticyclone frequency and comparison with periods of warming and cooling over the northern hemisphere. *J. Climate*, **4**, 263-267.
- Dietz, E.F., and T.J. Killeen, 1981: A nonparametric multivariate test for monotone trend with pharmaceutical applications. *Journal of the American Statistical Association*, **76**, 169-174.

- Essenwanger, O.M., 1986: Word Survey of Climatology, Vol 1B: Elements of Statistical Analysis. *Elsevier Science Publishing Company, INC*, 424 pp.
- Hansen, J.E. and S. Lebedeff, 1987: Global trends of measured surface air temperature. *J. Geophys. Res. Lett.*, **15**, 323-326.
- Hanssen-Bauer, I. and E.J. Forland, 1994: Homogenizing Long Norwegian Precipitation Series. *J. Climate*, **7**, 1001 – 1013.
- Hansen, J. and S. Lebedeff, 1998: Global surface temperatures: update through 1987. *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 323-326.
- Hirsch, R.M., J.R. Slack and R.A. Smith, 1982: Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.*, **18**, 107-121.
- Hirsch, R.M., and J.R. Slack, 1984: A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resour. Res.*, **20**, 727-732.
- Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava, 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 561 pp.
- Jansá G. M.J., 1969: Curso de Climatología – B 19. Instituto Nacional de Meteorología, Sección de Publicaciones – Ciudad Universitaria, Madrid, 64 pp.
- Karl, T.R., and C.N. Williams Jr., 1987: An Approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1714-1763.
- Lettenmaier, D. P., E.F. Wood and J.E. Wallis, 1994: Hydro-Climatological Trends in the Continental United States, 1948-88. *J. Climate*, **7**, 586-607.
- Parker, S.S., J.T. Hawes, S.J. Colucci and B.P. Hayden, 1989: Climatology of 500 mb cyclones and anticyclones, 1950-85, *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 558-570.
- Paulus, J.L.H. and M.A. Kohler, 1952: Interpolation of missing precipitation records. *Mon. Wea. Rev.*, Vol **80**, pags 129-133.
- Ripley, B.D., 1981: Spatial Statistics. Wiley Series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons. New York, 252 pp.
- Vincent, L.A., 1998: A technique for identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *J. Climate*, **11**, 1094-1104.
- Young, K.C., 1992: A three-way model for interpolating for monthly precipitation values. *Mon. Wea. Rev.* **120**, 2561-2569.
- Zishka, K.M., and P.J. Smith, 1980: The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July, 1950-77. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 387-401.