

HOMOGENEIDAD Y VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA EN ZONAS CLIMATICAMENTE HOMOGENEAS DE LA PENINSULA IBERICA

Carlos Almarza, M. Yolanda Luna.

Servicio de Desarrollos Climatológicos. Instituto Nacional de Meteorología. Leonardo Prieto Castro, 8. 28040 Madrid. almarza@inm.es; yluna@inm.es

ABSTRACT

La homogeneidad y variabilidad de la precipitación y la temperatura se analizan en tres áreas climáticas de características similares a partir de una base de datos reticular definida sobre la España peninsular y Baleares. Las observaciones se extraen de la totalidad de los datos contenidos en la base de datos histórica del Instituto Nacional de Meteorología (INM) para el periodo temporal 1931-2004. Con estas observaciones, el Servicio de Desarrollos Climatológicos del INM ha elaborado una base de datos reticular de precipitación y temperatura mediante interpolación espacial en una red de 25 km utilizando la técnica estadística espacial Kriging. Esta base de datos posee una distribución espacial y temporal homogénea, en la que no existen datos faltantes. En un trabajo anterior y a partir de la base de datos reticular, definieron tres zonas climáticas autosimilares: Atlántica, Mediterránea y Cantábrica. En estas tres zonas se obtuvieron las series mensuales medias de precipitación, temperatura máxima y mínima para caracterizar y estudiar la homogeneidad y variabilidad del clima en dichas zonas, a partir del test de Mann-Kendall, de Spearman y de Pettit. Las series de precipitación no presentan tendencias significativas en ninguna de las zonas, mientras que las de temperatura si muestran valores significativos observándose rupturas de homogeneidad.

INTRODUCCIÓN

La vigilancia y el análisis del clima son dos aspectos de vital importancia en la actualidad debido al incremento de origen antropogénico de gases de efecto invernadero (IPCC, 2001). Se hace necesario construir bases de datos largas y de buena calidad no solo para detectar el fenómeno, sino también para validar los modelos climáticos con los que se intenta predecir.

Existe una discrepancia entre los datos climáticos disponibles, normalmente series tomadas en estaciones irregularmente distribuidas en el espacio y en el tiempo, y los datos necesarios para los

modelos y los estudios de variabilidad que deberían estar regularmente distribuidos y sin huecos en las series. De hecho, existe una necesidad creciente de bases de datos climáticos de precipitación y temperatura distribuidos en una retícula regular. Además el análisis de la variabilidad climática pasada y futura necesita datos observados en varias escalas espacio-temporales. Para paliar este problema, el Servicio de Desarrollos Climatológicos del Instituto Nacional de Meteorología (INM) ha generado una base de datos a escala diaria interpolando los datos observados en una retícula regular de 25 x 25 km. El tamaño de la retícula no es tan pequeño como para necesitar un cálculo computacional excesivo, pero si adecuado para estudios de variabilidad climática incluyendo la evaluación de los impactos de cambio climático en España.

El objetivo de este estudio es analizar la homogeneidad y la existencia de tendencias en las series temporales de precipitación y temperatura para zonas climáticamente homogéneas en la España peninsular y las Islas Baleares. Para ello, en primer lugar se describen los datos utilizados en el trabajo, posteriormente se presentan los métodos utilizados para la obtención de las zonas climáticas homogéneas y los resultados obtenidos para después realizar el análisis de homogeneidad y tendencia. Por último se apuntan brevemente los resultados más interesantes en el apartado de conclusiones.

DATOS

Se utiliza la base de datos climática diaria obtenida a partir de observaciones in situ provenientes de la red del INM. El Servicio de Desarrollos Climatológicos ha elaborado una base de datos reticular mediante la interpolación estadística de estas observaciones in situ. Con esta base de datos reticular se trata de contar con observaciones diarias completas necesarias como datos de entrada de modelos medioambientales y para los estudios de variabilidad climática a escala regional diaria. Todos los datos termoplumiométricos contenidos en la Base de Datos

Climática Histórica del INM fueron extraídos para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1931 y el 31 de diciembre de 2004. El número de observaciones disponible no es constante con el tiempo, depende de la fecha como puede observarse en la Figura 1. Aún así, las observaciones disponibles, irregularmente distribuidas en el espacio, proporcionan una buena cobertura sobre el dominio (Figura 2a).

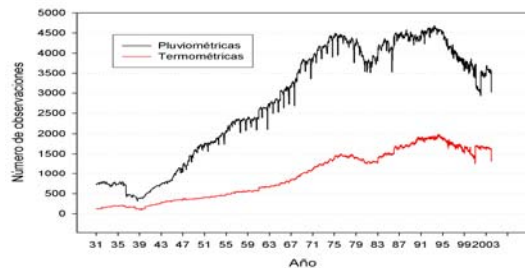


Fig. 1.- Evolución temporal del número de observatorios.

Se eligió un tamaño de retícula de 25 km (Figura 3) debido a que dicha resolución era apropiada para los modelos de evaluación de riesgos medioambientales y para los estudios de variabilidad climática incluyendo los de impactos del cambio climático en España. El método geostatístico utilizado para llevar a cabo la interpolación fue el Kriging debido a que preserva mayor cantidad de varianza original de los datos observados que otros métodos estadísticos (Shen et al., 2001). Esta técnica se encuentra implementada en todos los Sistemas de Información Geográfica utilizados para el análisis espacial, incluido el que está en uso en el INM. Además, el Kriging es ampliamente utilizado en otros países de nuestro entorno, permitiendo comparaciones entre bases de datos. Todas estas consideraciones se subrayan en los objetivos de la Acción CST719 (The use of GIS in Meteorology and Climatology) en la que participa activamente el INM.

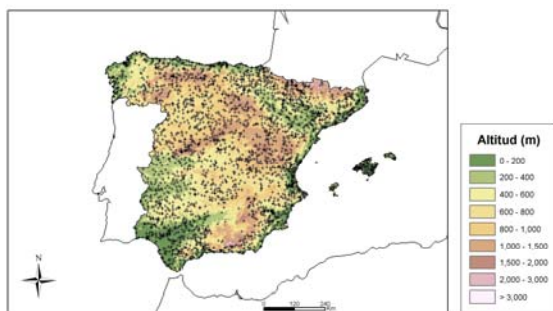


Fig. 2.- Distribución espacial de las observaciones pluviométricas el 31 de diciembre de 2004

Los datos contenidos en la base de datos reticular son campos de precipitación y temperatura máxima y mínima diarias a escala diaria en un periodo comprendido entre 1931 y 2004, ambos incluidos. Más información acerca de la base de datos reticular puede consultarse en Luna y Almarza (2004).

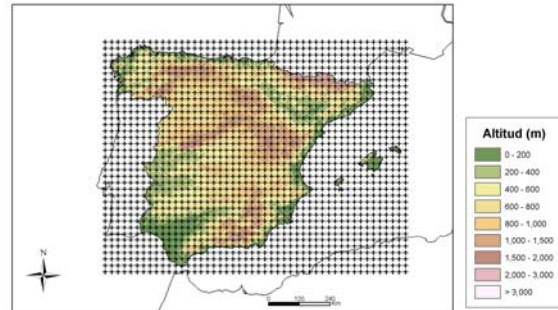


Fig. 3.- Disposición espacial de los puntos en la retícula de 25 km.

ZONAS CLIMATICAMENTE HOMOGENEAS

Aunque los procesos atmosféricos que dan lugar a los valores de temperatura y precipitación observados diariamente son altamente no lineales y operan e interaccionan en una amplia gama de escalas espaciales y temporales, su distribución espacial presenta cierta organización espacial con estructuras bien organizadas. Una regionalización objetiva del campo de precipitación de la base de datos reticular en España y Baleares ha sido realizada en Luna et al (2004) y Morata et al. (2005). Esta regionalización llevada a cabo mediante métodos no lineales, dio lugar a una serie de regiones climáticamente homogéneas.

La metodología utilizada para la detección de zonas climáticamente homogéneas consistió en la combinación de dos técnicas no lineales: descomposición wavelet de señales y redes neuronales. En primer lugar se aplica un Análisis Multiresolución Wavelet (AMW), que resulta una herramienta muy útil para el tratamiento de señales no estacionarias como son las series climáticas. El AMW proporciona una transformación de los datos observados mediante una operación matemática de convolución, siendo estimada la bondad del ajuste en el sentido de mínimos cuadrados (Mallat, 1989). Comparada con la Transformada de Fourier, la transformación wavelet es más adecuada debido a que posee mejores propiedades matemáticas tanto en el dominio temporal como en el de frecuencias, además de trabajar como una función microscópica en el análisis. La AMW se utiliza en este trabajo como un filtro no lineal para descomponer y aislar las características autosimilares en baja frecuencia

(periodos superiores a tres años) del campo de precipitación en la Península y Baleares.

El segundo paso en el análisis consistió en la clasificación de las señales obtenidas del filtrado anterior por medio de una red neuronal. La red neuronal no supervisada de Kohonen aplicada a dichas señales proporciona mapas autosimilares que identifican de una forma objetiva varias zonas de comportamiento similar en baja frecuencia. Esta aproximación no lineal, conocida como "Self-Organizing Map (SOM)" es habitualmente utilizada para el reconocimiento y clasificación de patrones espaciales (Kohonen, 1995).



Figura 4.- Zonas climáticamente homogéneas obtenidas de la combinación de análisis wavelet y redes neuronales de Kohonen.

La combinación de análisis wavelet y redes neuronales de Kohonen aplicada sobre las series de precipitación de la base de datos reticular, produciendo una regionalización para baja frecuencia, mostrando la existencia de tres zonas climáticamente homogéneas (Figura 4):

- Zona 1: Región Atlántica que cubre el noroeste, las dos mesetas y el suroeste de la Península.
- Zona 2: Región Mediterránea que abarca la mayor parte de la costa mediterránea, las Islas Baleares y el sureste del valle del Ebro.
- Zona 3: Región Cantábrica que cubre la mayor parte de la cornisa cantábrica, los Pirineos y la parte noroccidental del valle del Ebro.

La metodología fue aplicada para la detección de señales en baja frecuencia (periodos superiores a 3 años) para clasificar el comportamiento autosimilar de las variables desde un punto de vista climático, a largo plazo. Así, esta clasificación climática, que fue obtenida para el campo de precipitación, es totalmente extensible al campo de temperatura. En alta frecuencia la alta no linealidad de los procesos atmosféricos produce un mayor número de áreas autosimilares y dicha clasificación depende de la banda de frecuencia (Morata et al., 2005).

HOMOGENEIDAD Y TENDENCIA

Para cada una de las tres zonas definidas en la Sección anterior, se obtienen las series temporales como un promedio espacial de las series originales contenidas en cada una de las áreas. De esta forma, a partir de los datos diarios, se obtienen series mensuales y anuales de precipitación acumulada y de temperatura máxima y mínima. Las series de temperatura media se calculan como la semisuma de los valores promedio máximos y mínimos. Varias técnicas y test estadísticos fueron aplicados tratando de detectar inhomogeneidades y tendencias como indicios de un posible cambio climático. El test de Spearman (Sneyers, 1992) fue utilizado para establecer si las series en estudio son o no homogéneas. El test de Mann-Kendall (Sneyers, 1992) y el test de Pettit (Pettit, 1979) han sido utilizados para detectar estadísticamente la presencia de tendencias en el periodo de tiempo analizado y encontrar el instante temporal del comienzo y final de esas tendencias, si es que existen.

Los resultados de los test aplicados a las series de precipitación anual demuestran que en ninguna de las tres zonas puede detectarse una tendencia significativa, confirmandose que las tres series de precipitación anual son homogéneas a un nivel del 5% (Tabla 1).

	<i>Mann-Kendall</i>	<i>Spearman</i>
Atlántico	-1.18	-1.21
Mediterráneo	-0.23	-0.24
Cantábrico	-1.89	-1.94

Tabla 1.- Estadísticos obtenidos de los test de Mann-Kendall y Spearman para la precipitación anual acumulada para las tres zonas climáticas.

En las series de temperatura media anual de las máximas puede observarse como en las tres zonas las series no son homogéneas. Todos los test aplicados conducen a la aceptación estadística de existencia de tendencia, positiva en todos los casos (Tabla 2). Se puede entonces concluir que la temperatura media anual máxima ha aumentado a lo largo del registro de observaciones con que cuenta la base de datos reticular (1931-2004). El test de Pettit aporta además información acerca del instante en que se produce la ruptura de homogeneidad, que se sitúa en 1980 en el caso de las zonas Mediterránea y Cantábrica y en 1978 para la zona Atlántica.

Las fechas de ruptura forman puntos de corte en las series temporales, existiendo entonces dos series, antes y después de dicha ruptura, cuya homogeneidad ha sido comprobada con los mismos test, Mann-Kendall y Spearman. La evolución temporal de las series de temperatura media de las máximas para las

tres zonas puede observarse en la Figura 6. En ella se ha incluido el punto de ruptura para cada serie y el valor medio de las series antes y después de la ruptura.

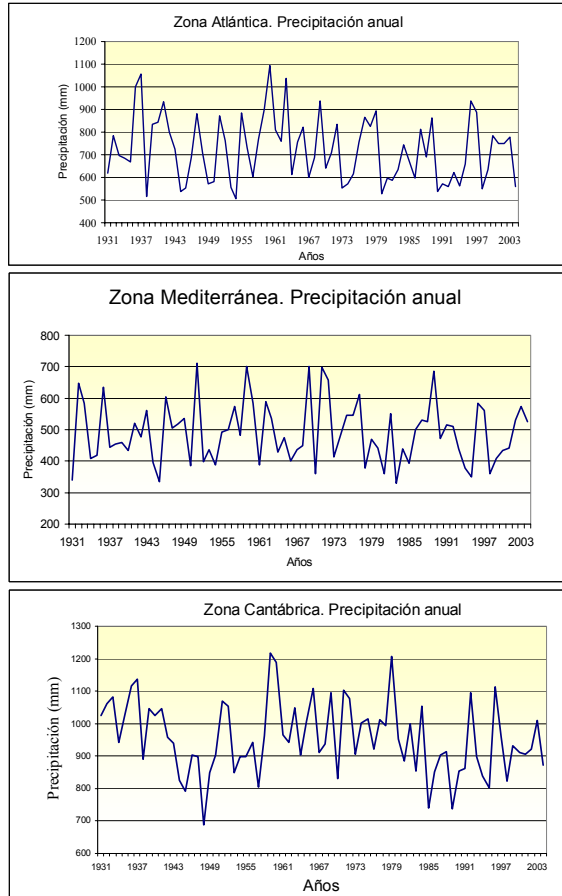


Figura 5.- Series temporales de precipitación anual para las tres zonas climáticas.

Las series de temperatura media anual de las mínimas para las tres zonas presentan un comportamiento claramente diferenciado unas de otras. Mientras que la zona Mediterránea no se detectan ni homogeneidades ni tendencias significativas, en las zonas Atlántica y Cantábrica si se observan (Tabla 3). En la zona Atlántica existe una ruptura en 1986, siete años más tarde que en caso de las máximas. Esta ruptura produce dos series con valores medios significativamente diferentes: 7.9°C en el periodo 1931-1985 y 8.4°C en el periodo 1986-2004. Estas dos series si que son homogéneas y no presentan tendencias significativas cuando son analizadas con los mismos test.

	<i>Mann-Kendall</i>	<i>Spearman</i>	<i>Pettit</i>
Atlántico	3.95	3.91	1978
Mediterráneo	2.71	2.59	1980
Cantábrico	3.43	3.27	1980

Tabla 2.- Estadísticos obtenidos de los test de Mann-Kendall y Spearman para las series de temperatura media anual de las máximas para las tres zonas climáticas; se indica además el año de ruptura de homogeneidad obtenido por el test de Pettit.

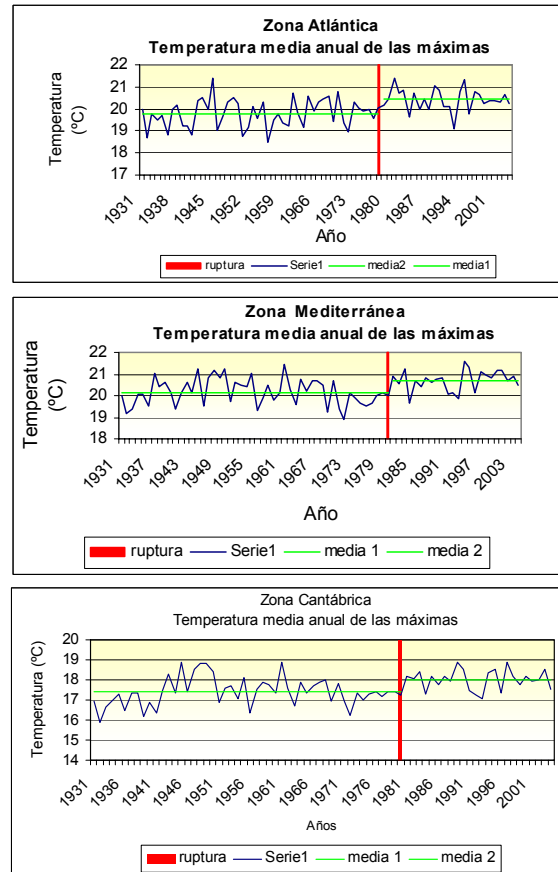


Figura 6.- Series temporales de temperatura media de las máximas las tres zonas climáticas (trazo azul). El punto de ruptura está indicado por una línea roja, separando dos partes de las series que son homogéneas y poseen diferente media (trazo verde).

La zona Cantábrica presenta dos rupturas de homogeneidad. En un primer análisis se detecta una ruptura en 1980, al igual que en el caso de las máximas. Sin embargo, la serie comprendida en el periodo 1980-2004 posee una clara tendencia observable a primera vista en la Figura 7. Analizando esta serie con los test de Mann y Pettit, se manifiesta una tendencia positiva significativa situándose la ruptura en 1993. Así tenemos tres partes homogéneas en la serie: periodo 1931-1979 con un valor medio de 6.4°C, periodo 1980-1992 con un valor medio de 6.7°C y un periodo final de 1993-2004 con un valor medio de 7.0°C.

	<i>Mann-Kendall</i>	<i>Spearman</i>	<i>Pettit</i>
Atlántico	2.20	3.00	1986
Mediterráneo	-0.55	-0.75	----
Cantábrico	3.57	3.48	1980

Tabla 3.- Igual que Tabla 2 excepto para las series de temperatura media anual de las mínimas.

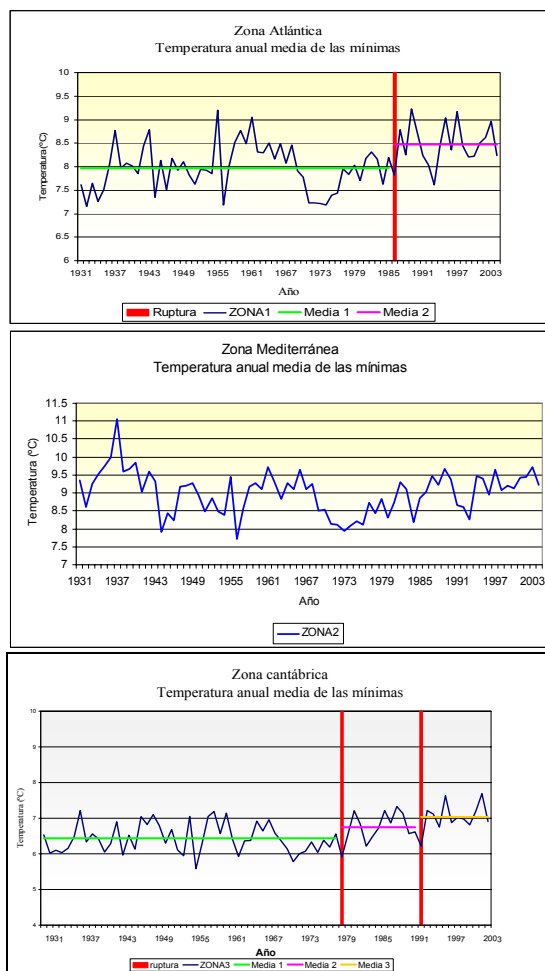


Figura 7.- Series temporales de temperatura media de las mínimas las tres zonas climáticas (trazo azul). El punto de ruptura está indicado por una línea roja, separando partes de las series que son homogéneas y poseen diferente media (trazo verde, trazo rosa y trazo naranja).

Este comportamiento de las temperaturas mínimas se repite cuando se toma la media invernal (incluyendo los meses de diciembre, enero y febrero) en lugar de la media anual (por razones de brevedad, no se muestran las figuras resultantes del análisis). En la temperatura mínima media de invierno, se observa una clara tendencia positiva, significativa al nivel del 5%, en las series de las zonas Atlántica y Cantábrica. Sin embargo esta tendencia no se detecta en la zona Mediterránea.

	<i>Mann-Kendall</i>	<i>Spearman</i>	<i>Pettit</i>
Atlántico	4.65	4.29	1978
Mediterráneo	1.93	1.72	----
Cantábrico	4.08	3.79	1980

Tabla 4.- Igual que Tabla 2 excepto para las series de temperatura media anual para las tres zonas climáticas.

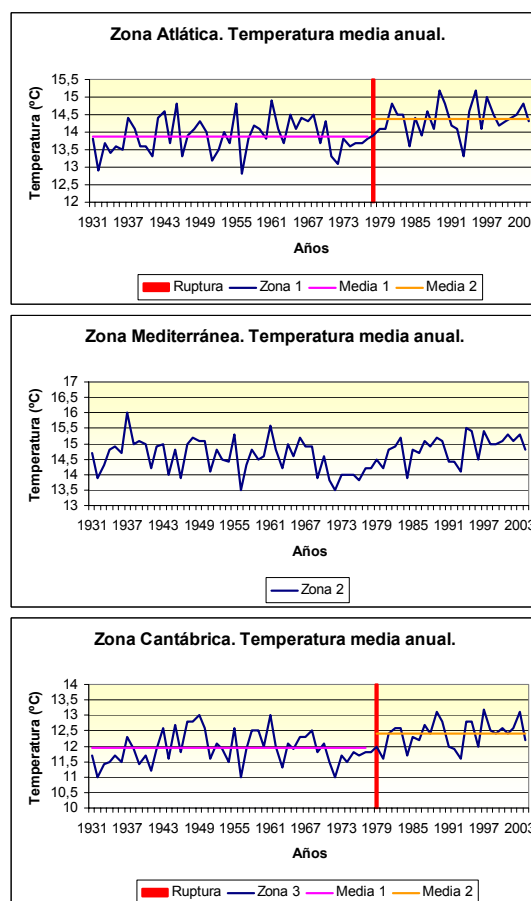


Figura 8.- Series temporales de temperatura anual media de las tres zonas climáticas (trazo azul). El punto de ruptura está indicado por una línea roja, separando las series que son homogéneas y poseen diferente media (trazo verde y trazo naranja).

En cuanto a las temperaturas medias anuales para las tres zonas, se encuentran resultados análogos a los anteriores. Lo más destacable es la ausencia de tendencias significativas en la zona Mediterránea en el periodo en estudio (Figura 8). Aunque existe una inhomogeneidad en la serie de temperatura media anual de las máximas para esta zona, esta tendencia no se refleja en la temperatura media anual. Los valores resultantes de los estadísticos de Mann y Pettit se muestran en la Tabla 4, en la que se puede observar como son claramente significativos en las zonas Atlántica y Cantábrica. En la zona Atlántica la ruptura se sitúa en 1978, separando dos periodos cuyos valores medios de temperatura son 13.9 y

14.4. En la zona Cantábrica la ruptura se localiza como en casos anteriores en 1980, dando lugar a dos periodos homogéneos antes y después de dicha fecha cuyos valores medios de temperatura son 11.9 y 12.4, respectivamente.

La evolución temporal de estos valores medios anuales de temperatura pueden compararse con las series de temperatura media anual para el Hemisferio Norte (Jones, 2003). En esta serie hemisférica se detectó un periodo más o menos estable en la temperatura hasta la década de los 70, observándose a partir de entonces un rápido ascenso en los valores de temperatura media anual. Los resultados de tendencias de Jones son bastantes concordantes con los encontrados en este trabajo para las tres zonas climáticas. Para corroborar dicha concordancia, se calcularon los valores de correlación entre la serie de anomalías de temperatura media anual del Hemisferio Norte de Jones y las series de anomalías de temperatura media anual para las tres zonas climáticas en estudio. Todas las anomalías se han calculado respecto al mismo periodo de referencia utilizado por Jones: periodo comprendido entre 1961 y 1990. Los valores de correlación entre la serie de anomalías de Jones y las correspondientes a las zonas Atlántica, Mediterránea y Cantábrica son 0.53, 0.46 y 0.52, respectivamente (Figura 9). Los valores no son muy elevados, aunque sí significativos al 5%, pero sí puede observarse como el valor de correlación es inferior en el caso de la Zona Mediterránea donde no se apreciaban tendencias significativas ni en la serie de temperatura anual media ni en la serie de temperatura media de las mínimas.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de homogeneidad y tendencia de las series de precipitación y temperatura en tres zonas climáticas homogéneas de la España peninsular y las Islas Baleares. Los resultados principales de dicho estudio pueden resumirse como:

- Las series de precipitación no presentan tendencias significativas en el periodo en estudio (1931-2004), por lo que no se puede afirmar desde un punto de vista estadístico que la precipitación acumulada anual haya aumentado o disminuido en ninguna de las zonas climáticas.
- En la zona Mediterránea no existe tendencia significativa ni en la temperatura media anual ni tampoco en las mínimas. se observa una ruptura de homogeneidad en 1980 en la series de temperatura media de las máximas.

- La zona Atlántica presenta tendencias en las tres series de temperatura, media, máxima y mínima, situándose la ruptura en 1978 (excepto para las mínimas que se encuentra en 1986).
- En las zona Cantábrica, existen inhomogeneidades en las tres series de temperatura, pero es destacable la serie de las mínimas en las que existe una clara tendencia positiva con tres periodos diferenciados. La ruptura principal se sitúa en 1980.

Comparando los resultados obtenidos para España con la serie de temperaturas medias para el Hemisferio Norte, se destaca una evolución similar con tendencias positivas, con coeficientes de correlación alrededor del 0.5.

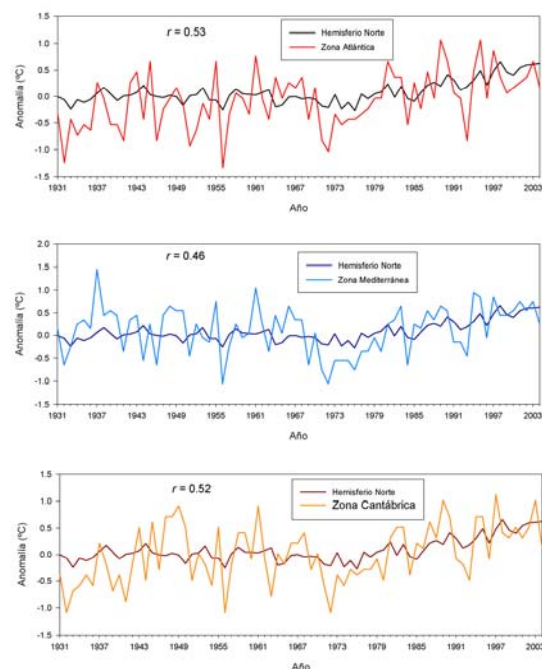


Figura 9: Evolución temporal de las anomalías de temperatura media anual para las tres zonas climáticas y para el Hemisferio Norte. Se indica el valor de correlación entre las series

REFERENCIAS

JONES, P.D. y MOBERG A., 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate* **16**, 206-223.

LUNA M.Y. y ALMARZA C., 2004. Interpolation of 1961-2003 daily climatic data in Spain. Proceedings of International Meeting on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology. Budapest, Hungary, 25-29 October 2004.

LUNA, M. Y., MORATA, A., AVELLO E. y PERAZA B., 2004. Estructuras Espaciales Coherentes de Precipitación en la España

- Peninsular: Régimen Atlántico. Proceedings of XXVIII Jornadas Científicas AME. Badajoz. Spain, 11-13 February, 2004.
- MALLAT S., 1989. A wavelet tour on signal processing. Academic Press, New York, 637 pp.
- MORATA, A., MARTÍN, M. L., LUNA, M. Y. y VALERO F., 2005. Self-Similarity patterns of precipitation in the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, On line, DOI: 10.1007/s00704-005-0175-7.
- PETTIT, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change point problem. *Appl. Stat.*, **28**, 126-135.
- SHEN, S. P., DZIKOWSKI, P., LI G. y GRIFFITH D., 2001. Interpolation of 1961–97 daily temperature and precipitation data onto Alberta Polygons of ecodistrict and soil landscapes of Canada. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 2162-2177.
- SNEYERS, E. T., 1992. On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change, *Meteorol Z*, **1**, 247-256.