

# TENDENCIAS OBSERVADAS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA ESPAÑA PENINSULAR Y BALEARES

M. Yolanda Luna, José Antonio López, José Antonio Guijarro  
Agencia Estatal de Meteorología, Leonardo Prieto Castro 8, 28040 Madrid, mlunar@aemet.es

## 1.- Introducción

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene entre sus misiones la observación y archivo de datos climatológicos atmosféricos que permiten proporcionar información a un amplio abanico de usuarios. En esta breve contribución se pretende presentar algunos resultados de las tendencias observadas sobre España peninsular e Islas Baleares para precipitación y temperatura a partir de bases de datos generadas y utilizadas en AEMET para diversos estudios climáticos. Se ha intentado complementar la exhaustiva revisión realizada por Bladé y Castro-Diez (2010) en el reciente informe “Clima en España: pasado, presente y futuro”.

AEMET tiene asignadas responsabilidades operativas en el campo de la información y seguimiento climáticos y que requieren de una respuesta rápida y puntual. Una de las bases de datos aquí utilizada se creó hace unos años con fines de seguimiento en tiempo casi-real del clima en España y desde su creación se actualiza continuamente utilizando estaciones que están muy rápidamente disponibles en el Banco de Datos Climatológicos. Esta base de datos es la referencia que utiliza AEMET para preparar boletines operativos de seguimiento climatológico y otras informaciones que están disponibles en la página web de AEMET en el apartado clima ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)).

Por otra parte, la preparación de datos climáticos homogéneos con un largo recorrido temporal y probada calidad es un paso previo imprescindible para la realización de cualquier estudio climático, especialmente los relacionados con el análisis de la variabilidad climática, tendencias y extremos. La fiabilidad y robustez de los estudios de variabilidad y cambio climáticos en los que intervienen datos observacionales, tales como las técnicas de regionalización estadísticas o la validación de modelos climáticos, precisan que las observaciones en los que se fundamentan sean sometidas a un exhaustivo control de calidad. La tendencia de la precipitación desde comienzos del siglo XX se analiza en esta contribución utilizando datos especialmente seleccionados por su longitud temporal y calidad, y sometidos posteriormente a un control de calidad, relleno de lagunas y

homogeneización. Estos datos, al contrario que los anteriores, en los que prima la inmediatez para su utilización operativa, se generan en un largo proceso en el que prima la calidad y extensión temporal del dato. Las tendencias de temperatura desde mediados del siglo XIX se han analizado por Brunet et al (2006) utilizando una base de datos compuesta por las 22 series más largas de temperaturas diarias españolas.

La sección 2 describe con detalle las dos colecciones de datos utilizados para analizar las tendencias de precipitación y temperatura sobre España peninsular e Islas Baleares. La sección 3 analiza las tendencias recientes desde 1965 de precipitación y temperatura, mientras que la sección 4 describe las tendencias desde principios del siglo XX en precipitación. Las conclusiones se resumen en la sección 5.

## 2.- Datos

Las tendencias que se muestran en esta contribución corresponden a dos bases de datos que se han creado a partir de los datos archivados en el Banco de Datos Climatológicos de AEMET para unos fines muy específicos.

### 2.1.- Series para el seguimiento climático

Las tendencias recientes de precipitación y temperaturas se han obtenido a partir de un conjunto de 42 observatorios que se seleccionaron hace algunos años en AEMET con el objetivo de efectuar un rápido seguimiento del clima. Estas series forman la base de los boletines operativos de seguimiento climatológico de temperatura mensual, estacional y anual producidos por AEMET y disponibles en su página web en el apartado clima ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)). También se utilizan en el seguimiento climatológico de la precipitación, aunque para esta variable se usan también otras series en la valoración por cuencas hidrográficas. Este conjunto de series se seleccionó atendiendo a criterios de representatividad geográfica y continuidad en el tiempo, tanto en lo que se refiere a la ausencia o escasez de lagunas en el pasado, como en la previsible continuidad en el futuro dado que son observatorios importantes (denominados principales). También se consideró que tuvieran dato diario de precipitación y

temperatura con una rápida disponibilidad. Para que este conjunto de observatorios, con buena representación geográfica pero limitado, proporcionasen una estimación lo más aproximada posible de los promedios areales para toda España peninsular y Baleares (el seguimiento en Canarias se hace con otro conjunto) se asignó unos pesos a cada uno de los observatorios por el método de los polígonos de Thyssen.

## 2.2.- Series largas de precipitación

Las tendencias de precipitación desde comienzos del siglo XX se han analizado usando un conjunto de series largas de precipitación que se obtuvieron realizando una búsqueda de estaciones en el Banco de Datos Climatológico de AEMET siguiendo criterios de cobertura espacial y temporal, continuidad a largo plazo y calidad potencial. El criterio de cobertura temporal ha sido determinante ya que se han buscado registros con longitudes cercanas o superiores a 100 años. La red de observación climatológica en España aumentó considerablemente entre 1910 y 1920, por lo que se ha impuesto un criterio inicial de existencia de observaciones con anterioridad a 1920. Las series así identificadas debían tener continuidad, permitiéndose cambios de emplazamiento o incluso desapariciones siempre que existiese en los alrededores, a una distancia no superior a 20 km, algún observatorio fiable y con perspectivas de continuidad en el futuro. El trabajo realizado ha dado como resultado un conjunto de 66 series mensuales potencialmente buenas, 65 distribuidas por el territorio español peninsular y Baleares, más la de Gibraltar cuyos datos se remontan a 1852.

La homogeneización de los datos y el relleno de lagunas se llevó a cabo con el paquete "Climatol" descrito con detalle en (Guijarro, 2011). El procedimiento se basa en un ajuste iterativo de las anomalías de cada serie del conjunto con relación a un conjunto muy amplio de series climatológicas próximas disponibles en el Banco de Datos de AEMET. El procedimiento incluye pruebas de homogeneidad mediante el test SNHT (Alexandersson, 1986). La figura 1 muestra la relativamente uniforme cobertura espacial de los 66 observatorios que componen esta base de datos.

## 3.- Tendencias recientes en precipitación y temperatura

### 3.1.- Temperatura

i) Anual.

Con el conjunto mencionado de 42 observatorios principales se dispone de datos casi completos de temperatura media mensual desde 1965. Con estos datos en la figura 2 se representa la temperatura

media mensual de España peninsular y Baleares para el periodo 1965-2010. Se ha representado, junto con la serie de valores anual (en azul), la serie suavizada con un filtro *loess*, para que se aprecien mejor las variaciones en periodos de varios años, y la tendencia lineal por ajuste de mínimos cuadrados. Esto mismo se ha hecho en las series para cada una de las estaciones del año que se comentan más abajo. Se aprecia a simple vista la tendencia general creciente, en especial desde mediados de los 70 hasta el año 2000. En los años antes de mediados de los 70 la tendencia es decreciente, y después del 2000 se observa un estancamiento en la tendencia creciente.

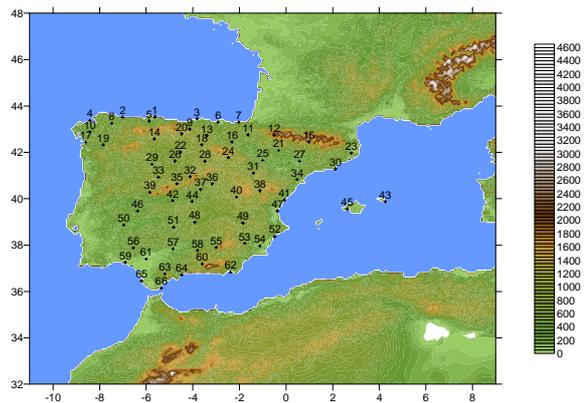


Fig. 1.- Mapa de situación de las estaciones pluviométricas que componen las 66 series largas de precipitación.

En la tabla 1 se han consignado para el periodo 1965-2010 y para los últimos 30 años, periodo 1981-2010, las tendencias en °C/10 años y sus niveles de significación estadísticos. Estos últimos se han calculado con el test de Man-Kendall, que es un test no paramétrico, lo que quiere decir que es poco sensible a los detalles de la distribución de los datos, al basarse en las posiciones relativas de cada dato en la serie ordenada. Por tanto es más robusto estadísticamente.

Tendencias en °C/10 años	1965-2010	1981-2010
<b>AÑO</b>	<b>0.37</b>	<b>0.26</b>
<b>PRIM (MAM)</b>	<b>0.50</b>	<b>0.51</b>
<b>VER (JJA)</b>	<b>0.56</b>	<b>0.52</b>
<b>OTO (SON)</b>	<b>0.23</b>	-0.05
<b>INV (DEF)</b>	0.13	0.04

Tabla 1.- Tendencias de la temperatura media para España peninsular y Baleares (en negrita las significativas al 5% pero no al 1%, en negrita y cursiva las significativas al 1%)

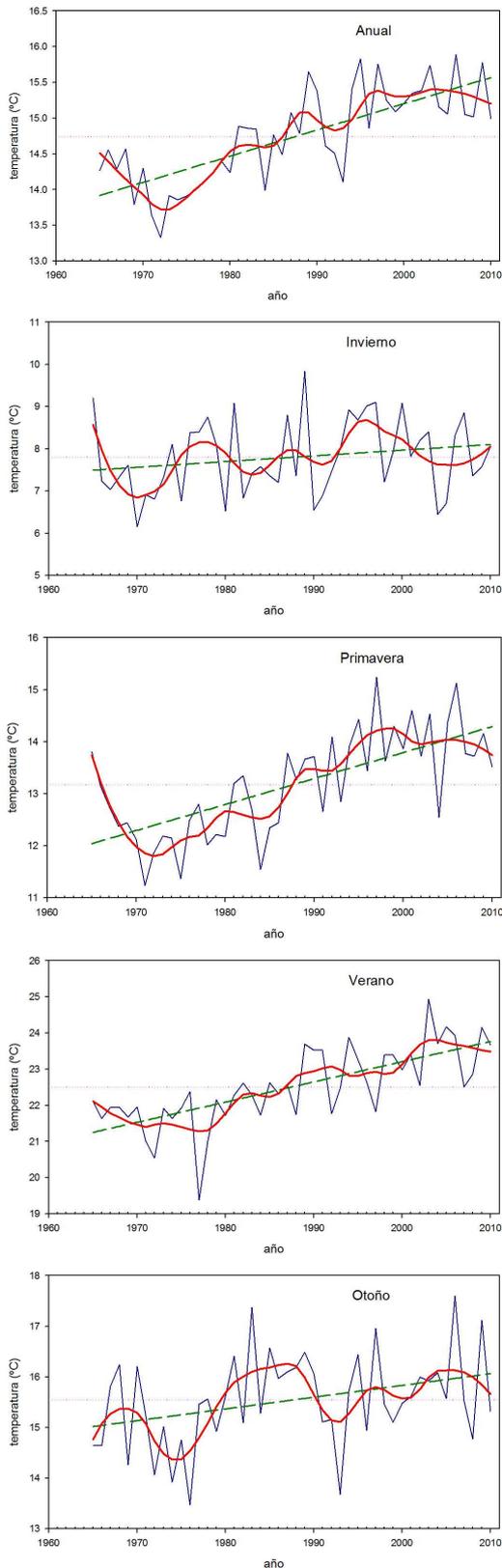


Fig. 2.- Evolución de la temperatura media anual y por estaciones para España peninsular y Baleares para el periodo 1965-2010. Se representa también la serie suavizada con un filtro *loess* (en rojo).

Se aprecia que la tendencia media para el periodo completo 1965-2010 es de  $0.37\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ años}$ , un valor ciertamente elevado que si se extrapolara a cien años conduciría a un valor de la tendencia del orden de 5 veces superior a la tendencia media global en los últimos 100 años. Esta última según el IPCC es del orden de  $0.7\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ años}$ . Por otra parte esta tendencia es significativa al 1% (en realidad el nivel de significación es bajísimo, inferior a la millonésima). Esto quiere decir que es bajísima la probabilidad de que una tendencia tan grande apareciera de forma puramente aleatoria. Para los últimos 30 años la tendencia se reduce algo, queda en  $0.26\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ años}$ . Esta tendencia es significativa al 5%, pero ya no al 1%. En realidad vemos que el nivel de temperatura hacia 1965 y 1981 es similar, esto explica la disminución de la tendencia en el último periodo.

#### ii) Estacional.

Como ponen de manifiesto la tabla 1 y la figura 2 las dos estaciones del año con mayor tendencia son primavera y verano, ambas con tendencias muy significativas estadísticamente en los dos periodos considerados. El valor de estas tendencias es aproximadamente  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ años}$ . En la gráfica suavizada de la temperatura para la primavera apreciamos una evolución muy similar a la de la media anual, con el descenso de los años 70 y la estabilización del 2000 en adelante algo más pronunciados, si cabe, que en la media anual. El verano sigue una evolución más constante y mejor ajustada a una tendencia lineal. El otoño presenta la particularidad de mostrar una tendencia ligeramente negativa y no significativa en los últimos 30 años, si bien para el periodo completo 1965-2010 la tendencia es positiva y significativa al 5%. El invierno es la estación que para el conjunto de los dos periodos considerados tiene menor tendencia, y en los últimos 30 años casi no tiene tendencia. Las tendencias para los dos periodos considerados no son significativas estadísticamente al 5%, siendo la única estación para la que sucede esto. A partir del año 2000 muestra una clara estabilización o incluso ligero descenso, al igual que la primavera.

### 3.2.- Precipitación

#### i) Anual.

La tendencia para el periodo 1971-2010 es de  $-2.7\text{ mm}/10\text{ años}$  (ver tabla 2) y para los últimos 30 años de  $24.1\text{ mm}/10\text{ años}$ ; ninguna de estas tendencias es significativa estadísticamente al 5%. Llama la atención la apreciable diferencia entre las tendencias en estos dos periodos, que sólo se diferencian en 10 años. Esto sirve para remarcar que la precipitación exhibe una variabilidad climática natural en periodos de varias decenas de años muy considerable (ver figura 3).

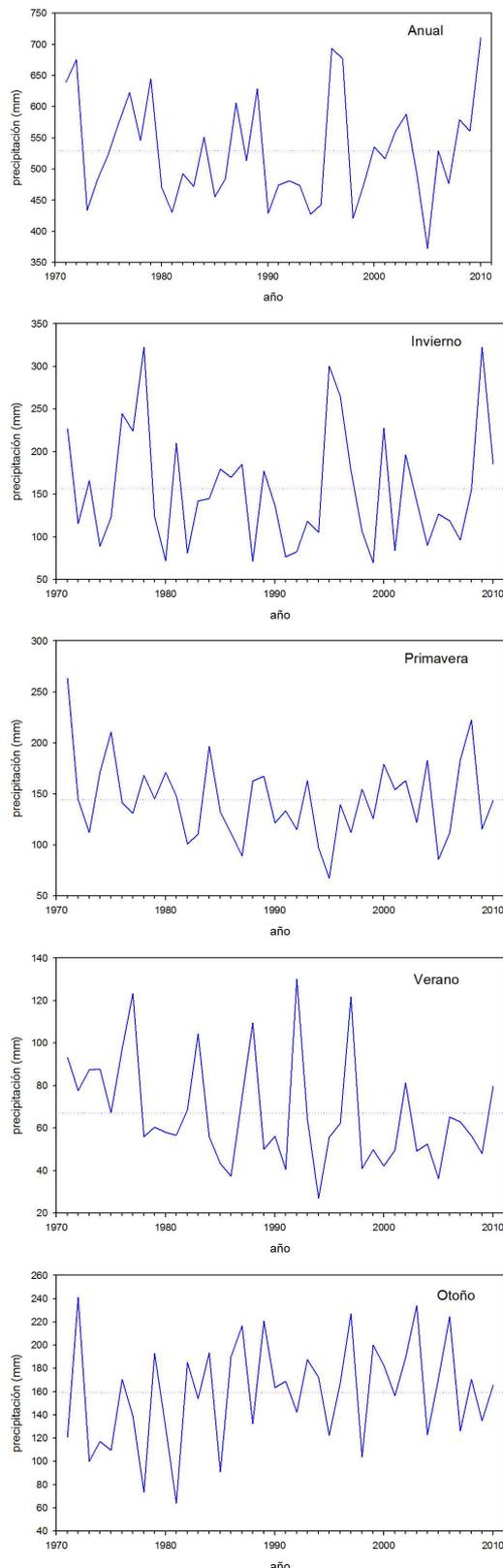


Fig. 3.- Evolución de la precipitación acumulada anual y por estaciones para España peninsular y Baleares para el periodo 1965-2010.

En realidad la mayor tendencia en los últimos 30 años está muy condicionada por la intensa sequía de principio de los años 80. Las medias decadales de

las cuatro décadas desde 1971 a 2010 son respectivamente 561.7 mm, 506.4 mm, 510.4 mm y 538.4 mm (ver tabla 2). Se ve que la década de los 70 fue en conjunto la más lluviosa, mientras que la de los 80 fue la más seca (aunque a poca distancia de los 90).

Valor medio (mm)	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
AÑO	561.7	506.4	510.4	538.4
PRIM (MAM)	166.0	134.2	128.8	148.5
VER (JJA)	80.9	65.7	63.5	58.2
OTO (SON)	139.5	161.1	167.5	169.6
INV (DEF)	170.9	150.0	153.2	151.8

Tabla 2.- Medias de la precipitación por décadas (valores en mm).

#### ii) Estacional.

Como se aprecia en la tabla 3 la única tendencia significativa al 5% es la del verano en los últimos 40 años, con un valor de -7.3 mm/10 años. Sin embargo, en esta estación la tendencia se reduce algo en los últimos 30 años. La primavera y el invierno muestran tendencia negativa desde 1971 y positiva desde 1981, en concordancia con la media anual. En otoño vemos tendencias positivas en los dos periodos, pero algo menor en los últimos 30 años. Tanto en la tabla de las tendencias como en la de las medias decadales vemos que el verano y el otoño muestran comportamientos inversos: el verano tiene tendencias negativas en los dos periodos con medias decadales uniformemente decrecientes; el otoño, por el contrario, muestra tendencias positivas en ambos periodos y medias decadales uniformemente crecientes.

Tendencias en mm/10 años	1971-2010	1981-2010
AÑO	-2.7	24.1
PRIM (MAM)	-5.3	8.1
VER (JJA)	<b>-7.3</b>	-4.0
OTO (SON)	9.7	5.9
INV (DEF)	-2.2	7.6

Tabla 3.- Tendencias de la precipitación de Península-Baleares para dos periodos temporales (en negrita las significativas al 5%)

#### 4.- Tendencias en precipitación desde el comienzo del siglo XX

El análisis de tendencias en la precipitación se ha realizado a partir de un conjunto de 66 series que comienzan en 1901, promediándolas para el año y para cada una de las cuatro estaciones del año.

##### i) Anual.

En la figura 4 puede observarse cómo las tres primeras décadas (1901-1930) presentan valores

promediados muy similares a los de las últimas (1981-2008) mientras que las décadas (1961-1979) son las más lluviosas del registro coincidiendo con un pico en la precipitación en coincidencia con los resultados de Bladé y Castro-Díez (2010). Destaca también un máximo secundario en la década de los 30, seguido por años de sequía centrados en 1950. El contraste entre estos años secos y los muy lluviosos que vienen a continuación, en la década de los 60, dibujan el tramo ascendente más pronunciado de la serie filtrada en la figura 4.

Como muestra la tabla 4 la tendencia a lo largo del periodo completo de 108 años es despreciable, del orden de 8 mm por siglo. En cambio si empezamos la serie en 1951 encontramos una tendencia decreciente apreciable, de 13.2 mm/10 años, que sin embargo no llega a la significación estadística al 5%. Es evidente de la figura 4, por otra parte, que si empezáramos en 1961 la tendencia decreciente sería todavía mayor, pues los 50 fueron relativamente secos. Esta tendencia es en efecto de -19.4 mm/10 años, valor que extrapolado a un siglo supondría un descenso de la precipitación media de casi 1/3. Con todo esta tendencia tan acusada desde 1961 no llega a ser significativa al 5% con el test de Mann-Kendall, aunque está muy cerca (el nivel alcanzado por el test es de 6.2%). Una conclusión que podemos extraer de este análisis es que la gran variabilidad decadal de la precipitación hace que puedan aparecer tendencias sobre varios decenios que no sean extrapolables sin más a periodos más largos.

Tendencias en mm/10 años	1901-2008	1951-2008
<b>AÑO</b>	0.8	-13.2
<b>PRIM (MAM)</b>	-0.8	-2.1
<b>VER (JJA)</b>	0.05	<b>-3.3</b>
<b>OTO (SON)</b>	0.2	1.7
<b>INV (DEF)</b>	1.6	-9.9

Tabla 4.- Tendencias en series largas de precipitación (mm/10 años) para dos periodos temporales (en **negrita** las tendencias significativas al 5% pero no al 1%, y en **negrita y cursiva** las significativas al 1%).

Una comparación con la serie de la sección 3.2 en el periodo común 1971-2008 muestra que la serie anual larga tiene valores del orden de un 20 % más altos que la serie del seguimiento climático. Esto se debe sin duda a la diferente cobertura espacial y al hecho de que la serie larga se ha obtenido mediante un promedio simple en este trabajo, mientras que a la serie de seguimiento climático se le ha aplicado una ponderación espacial, como se ha comentado en la sección 2 (i). No obstante la marcha de ambas series es muy similar, con un coeficiente de correlación del 98%.

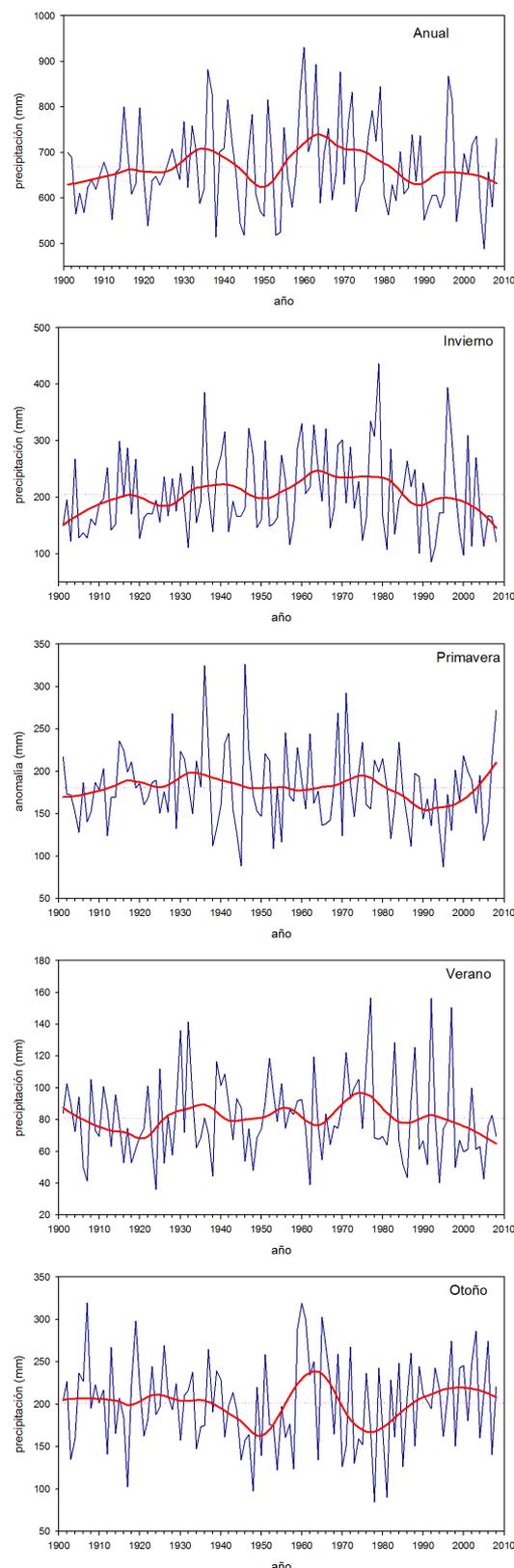


Fig. 4.- Evolución de la precipitación acumulada anual y por estaciones para España peninsular y Baleares para el periodo 1900-2010.

Algunos estudios recientes (Xoplaki et al, 2004; Gallego et al., 2006; Rodrigo y Trigo, 2007; López-Bustins et al., 2008; López-Moreno et al., 2009) describen una tendencia negativa para la precipitación en España. La diferencia con lo mostrado aquí estriba en que dichos estudios se basan en observaciones con una menor longitud temporal (comienzan en 1950 o 1960), tienen una densidad de estaciones muy variable y/o no abarcan la totalidad del territorio.

## ii) Estacional.

Como muestra la tabla 4 las tendencias estacionales para el periodo completo son todas de magnitud pequeña, ninguna llega a los 2 mm / 10 años, y tampoco ninguna es estadísticamente significativa. En cambio si empezamos en 1951 el invierno muestra una tendencia decreciente importante de casi 10 mm/10 años, que extrapolada a un siglo reduciría a la mitad la precipitación invernal en España. Pese a su magnitud esta tendencia no es significativa estadísticamente al 5% con el test de Mann-Kendall, lo que da idea de la importantísima variabilidad interanual de la precipitación invernal. De hecho en esta estación el coeficiente de variación (cociente entre la desviación típica y la media) es de un 35.6%, el mayor de todas las estaciones del año, seguido a corta distancia por el verano, con un 34.2% (pero la precipitación media en verano es menos de la mitad que en invierno, lo que infla el coeficiente de variación). En otoño y primavera el coeficiente de variación es de alrededor del 26%. Para la serie anual es inferior, un 15%.

En la tabla 4 vemos que la única tendencia significativa ocurre en verano desde 1951, con una magnitud de -3.3 mm/ 10 años. En este mismo periodo la primavera y el otoño muestran pequeñas tendencias, decreciente la primera y creciente el segundo.

En las líneas de evolución suavizadas de la figura 4 quizá el rasgo que llama más la atención es lo pronunciado de la alternancia en el otoño entre los secos 50, los lluviosos 60 y los secos finales de 70 y principios de los 80. Las otras estaciones siguen evoluciones más suaves en conjunto.

La evolución de la precipitación invernal en el siglo XX es consistente con la evolución de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) (p.e., Zorita and Storch (1992) y Luna et al (2000)). La fase positiva (negativa) de la NAO está caracterizada por un aumento (disminución) de la presión en el centro de altas presiones subtropicales (anticiclón de las Azores) y una disminución (aumento) sobre el centro de bajas presiones subpolares (baja de Islandia) implicando una disminución (aumento) de la precipitación en el suroeste Europeo (Hurrell et al., 2006). En la fase positiva las masas de aire son

del noroeste, secas y frías; mientras que en la fase negativa son del suroeste cálidas y húmedas. Así, a principios del siglo XX hubo una disminución de la precipitación asociada a una fase positiva de la NAO, y un aumento de la precipitación hasta alcanzar un máximo en los años 60 asociada a la fase negativa. De nuevo puede observarse una disminución de la precipitación en el siguiente periodo. Esto produce la traza cóncava apreciable en la línea filtrada de la figura 4 para el invierno.

## 5.- Conclusiones

Las tendencias recientes (desde 1965) de temperatura y precipitación resumidas en esta contribución y basadas en la colección de datos de estaciones que se utiliza operativamente para el seguimiento del clima en tiempo casi real son consistentes con las mostradas en otros trabajos que utilizan otras fuentes de datos. La tendencia de la temperatura anual para el periodo completo 1965-2010 es de 0.37 °C / 10 años y tiene una muy alta significación estadística. Para este periodo, las tendencias estacionales más acusadas, del orden de 0.5°C/10 años, se dan en primavera y verano. En invierno, en cambio, la tendencia es mucho menor. En cuanto a precipitación, la tendencia anual para el periodo 1971-2010 es despreciable mientras que para los últimos 30 años es de 24.1 mm/10 años. Este valor elevado está muy condicionado por la sequía de los años 1980. Ninguna de estas tendencias es significativa estadísticamente al 5%. Por estaciones, la única tendencia significativa al 5% es la del verano en los últimos 40 años, con un valor de -7.3 mm/10 años.

Para la precipitación desde comienzos del siglo XX, la tendencia de la media anual para todo el periodo es despreciable. En cambio desde mediados del siglo XX, la tendencia es notablemente negativa (-13.2 mm/10 años). En el análisis por estaciones del año, para los 108 años ninguna estación muestra tendencias apreciables. Desde 1951 el invierno muestra una tendencia decreciente de unos 10 mm/ 10 años, que sin embargo no alcanza la significación estadística. El verano en este periodo sí alcanza la significación estadística con una tendencia negativa de -3.3 mm / 10 años.

## Bibliografía

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.
- Gallego, M. C., J. A. García, J. M. Vaquero and V. L. Mateos (2006). Changes in frequency and intensity of daily precipitation over the Iberian

- Peninsula, *J. Geophys. Res.*, 111, D24105, doi:10.1029/2006JD007280.
- Guijarro, J.A. (2011). User's guide to climatol. <<http://webs.ono.com/climatol/climatol-guide.pdf>>, 40 pp.
- Hurrell JW, Visbeck M, Busalacchi A, Clarke RA, Delworth TL, Dickson RR, Johns WE, Koltermann KP, Kushnir Y, Marshall D, Mauritzen C, McCartney MS, Piola A, Reason C, Reverdin G, Schott F, Sutton R, Wainer I, Wright D (2006). Atlantic climate variability and predictability: A CLIVAR perspective. *Journal of Climate*, 19, 5100-5121.
- López-Bustins, J.A., J. Martín-Vide and A. Sanchez-Lorenzo (2008). Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns, *Global and Planetary Change*, 63, 171-176.
- López-Moreno, J. I., S. M. Vicente-Serrano, L. Gimeno and R. Nieto (2009). Stability of the seasonal distribution of precipitation in the Mediterranean region: Observations since 1950 and projections for the 21st century, *Geophysical Research Letters*, 36 (L10703).
- Luna, M. Y., M. L. Martín, F. Valero and F. González-Rouco (2001). Wintertime Iberian Peninsula precipitation variability and its relation to North Atlantic atmospheric circulation. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Eds. Manola Brunet India and Diego López Bonillo. Springer-Verlag. 369-376.
- Rodrigo, F.S. and R.M. Trigo (2007). Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002, *International Journal of Climatology*, 27, 513-519
- Xoplaki, E., J.F. González-Rouco, J. Luterbacher, and H. Wanner (2004). Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and predictability. *Clim. Dyn.*, 23, 63-78, DOI: 10.1007/s00382-004-0422-0.
- Zorita E, Kharin V, Von Storch H (1992). The atmospheric circulation and sea-surface temperature in the North-Atlantic area in winter - their interaction and relevance for Iberian precipitation. *Journal of Climate*, 5, 1097-1108.