

XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española  
(Teruel, 29 febrero – 2 marzo 2016)  
ISBN 978-84-617-5240-9

**CAMBIOS DE RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO EN LOS ÚLTIMOS 90 AÑOS EN ESPAÑA**

José Antonio LÓPEZ DÍAZ

jlopezd@aemet.es

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

**Datos**

Los datos utilizados en este estudio provienen de las 66 series largas de precipitación mensual que se formaron y homogeneizaron en AEMET utilizando el programa CLIMATOL desarrollado por J.A. Guijarro. Estas series se extienden a los años 1851-2010, pero aquí se usan los últimos 90 años, 1921-2010. Se analizan los cambios entre periodos sucesivos sin solape de 30 años: 1921-1950/1951-1980 y 1951-1980/1981-2010.

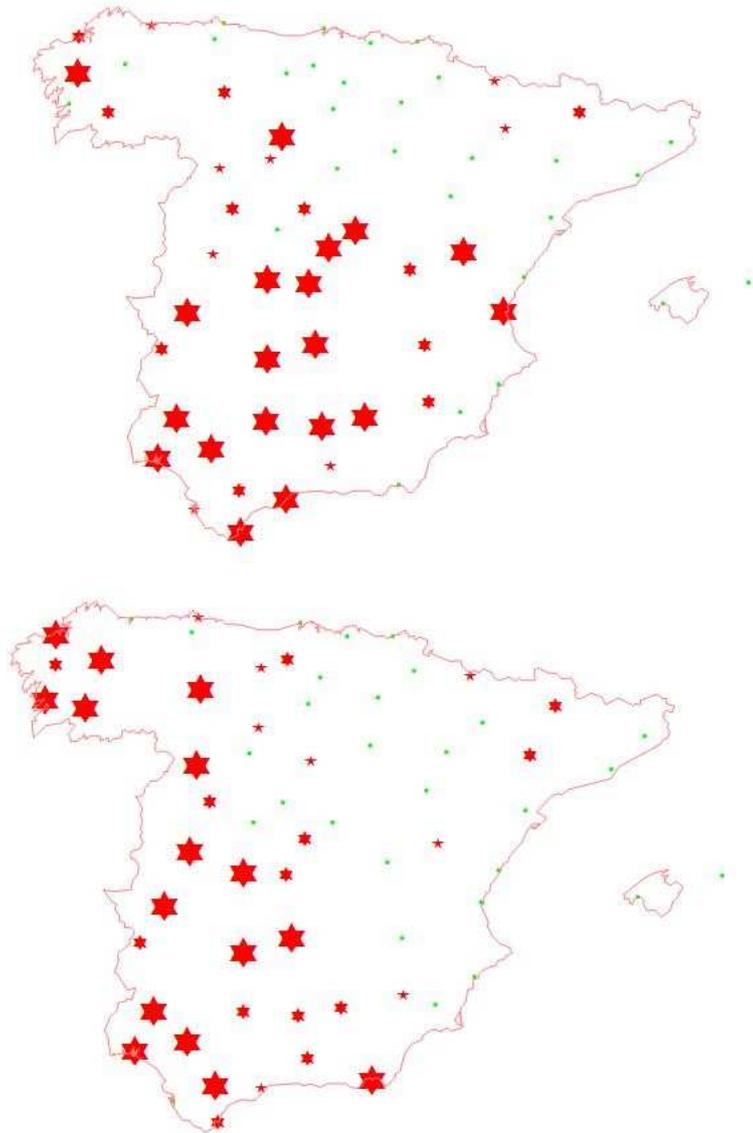
**Cambios en los totales normalizados: metodología**

Para analizar la significación estadística de los cambios en los totales de precipitación medios de cada estación del año entre dos periodos sucesivos de 30 años se ha aplicado una técnica de “bootstrap”. El problema se plantea de la siguiente forma: en cada uno de las dos treintenas tenemos un vector de 4 componentes con los totales estacionales, que se normalizan en forma de porcentajes de forma que sumen 100. Para juzgar si el segundo de ellos, correspondiente a la segunda treintena, supone un cambio significativo estadísticamente respecto al primero, es necesario conocer de algún modo la distribución del primer vector de porcentajes bajo las condiciones climáticas de la primera treintena. Una forma de aproximar estas condiciones climáticas consiste en utilizar muestras aleatorias de esos 30 años que simulen muestras provenientes de ese tipo de régimen pluviométrico. Esta técnica de “bootstrap” se esboza a continuación:

- La métrica elegida para valorar la semejanza entre dos 4-vectores de totales estacionales normalizados es la euclídea (raíz de suma de cuadrados del vector diferencia)
- Se forman los 4-vectores de totales estacionales observados normalizados en las dos treintenas a comparar y se calcula su distancia euclídea
- Se generan muestras por bootstrap de 4-vectores normalizados para la primera treintena: para ello se muestrean aleatoriamente los años por bloques de longitud media 5 años por la técnica de bootstrap geométrico (para asegurar estacionariedad)
- Para cada 4-vector aleatorio generado se halla la distancia al 4-vector observado
- Con la población de distancias (10.000) generadas se valora la significación estadística de la distancia observada hallando la probabilidad de tener una distancia mayor.

**Cambios en los totales normalizados: resultados**

En la fig. 1 se aprecia que los cambios significativos entre las treintenas 1921-1950/ 1951-1980 (mapa superior) y 1951-1980/1981-2010 (inferior) muestran una distribución espacial bastante similar. Se concentran fundamentalmente hacia el SO de una diagonal entre Asturias y Murcia.



*Fig. 1: Cambios significativos en los porcentajes de precipitación estacionales (sep-nov, dic-feb, mar-may) entre las treintenas 1921-1950/ 1951-1980 (mapa superior) y 1951-1980/1981-2010 (inferior). El tamaño de las estrellas rojas indica el p-valor, 0.01, 0.05, 0.10 respectivamente decreciendo en tamaño. Puntos verdes: observatorios sin cambio significativo.*

### **Tendencias anuales de la precipitación en el periodo 1921-2010**

Se presentan las tendencias anuales de la precipitación a lo largo del periodo de 90 años estudiado. Para valorar adecuadamente estas tendencias es necesario considerar el valor de la tendencia en mm/años y también el grado de significación estadística. Relacionada con esta

última, y también con interés propio como descriptor normalizado de la tendencia, se presentan las tendencias relativas, de acuerdo a la expresión:

$$\text{tendencia relativa (\%/100 años)} = 100 * \text{tendencia (mm/100 años)} / \text{media (mm)}$$

Se observan las mayores tendencias tanto absolutas como relativas de signo negativo en el cuadrante SO peninsular, pero no aparecen valores significativos salvo en algún observatorio.

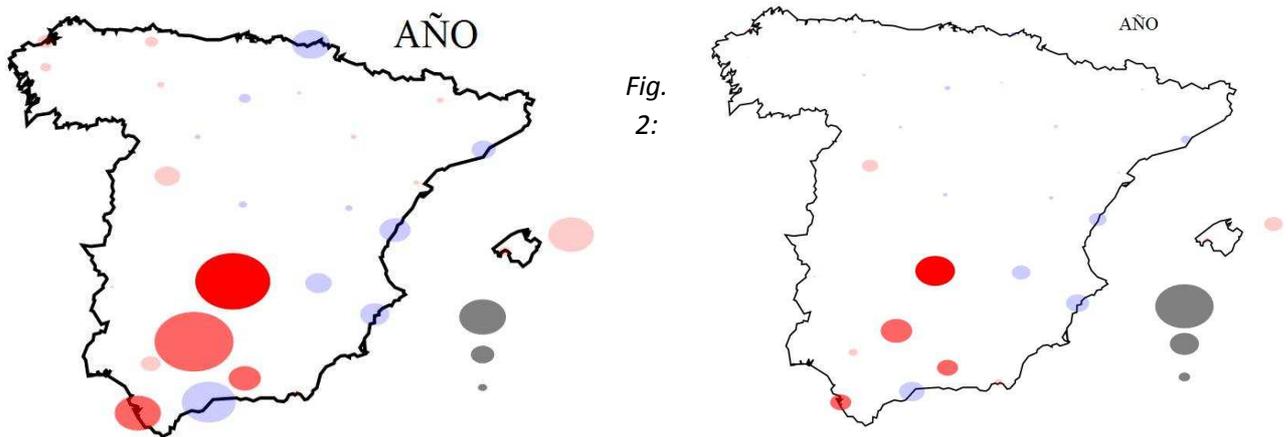


Fig. 2:

Mapas con las tendencias anuales periodo 1921-2010. A la izquierda tendencias (mm/ 100 años), a la derecha tendencias relativas (%/100 años, ver texto). El tamaño de las elipses indica la magnitud de la tendencia, rojo/azul según signo -/+ de la tendencia, la significación estadística de la tendencia se indica por la opacidad del color respectivo, mayor cuanto mayor la opacidad. Las tres elipses grises de la esquina SE escala tendencias relativas: 50, 20, 10.

### Tendencias relativas estacionales periodo 1921-2010

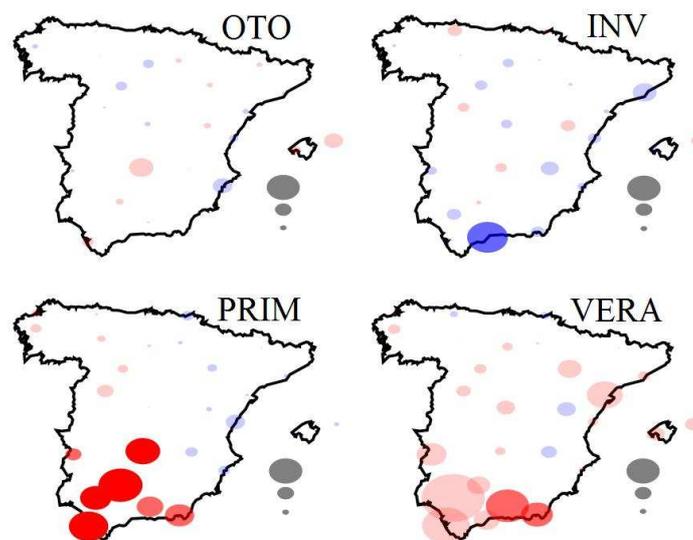


Fig. 3: Mapas con las tendencias anuales relativas (%/ 100 años) del periodo 1921-2010 (clave como en anterior figura).

Un análisis similar con las tendencias por estaciones pone de manifiesto que en primavera, en el cuadrante SO, se acumulan observatorios con tendencias negativas muy acusadas y significativas estadísticamente. En el verano los mayores valores de la tendencia relativa también se dan en el SO, pero tienen menos significación estadística. En el resto de regiones y estaciones del año los valores de las tendencias relativas son relativamente moderados, sin significación estadística, aunque llama la atención una tendencia creciente significativa en invierno en Málaga.

### El diagrama triangular para porcentajes y su interpretación

Si prescindimos del verano (en España es aceptable prescindir del verano salvo algunas regiones debido a la escasez de precipitaciones), para representar los regímenes de precipitación normalizados, dados por tres porcentajes ( $o$ ,  $i$ ,  $p$ ) correspondientes a otoño, invierno y primavera respectivamente, bastan dos números por la condición de suma constante de los porcentajes, de forma que se pueden representar en el plano. De la condición  $o + i + p = 100$ , tenemos que  $p = 100 - o - i$  con lo que conociendo dos de ellos se deduce el régimen completo. Si representamos en un par de ejes cartesianos los dos números ( $o$ ,  $i$ ) el inconveniente es que las líneas de  $p$  constantes están inclinadas  $45^\circ$  respecto a la horizontal, y por tanto no hay simetría en el gráfico para los tres porcentajes. El diagrama triangular que se utiliza en este trabajo tiene la ventaja de que visualiza la terna ( $o$ ,  $i$ ,  $p$ ) de forma que los tres porcentajes se tratan simétricamente, lo que facilita la comprensión.

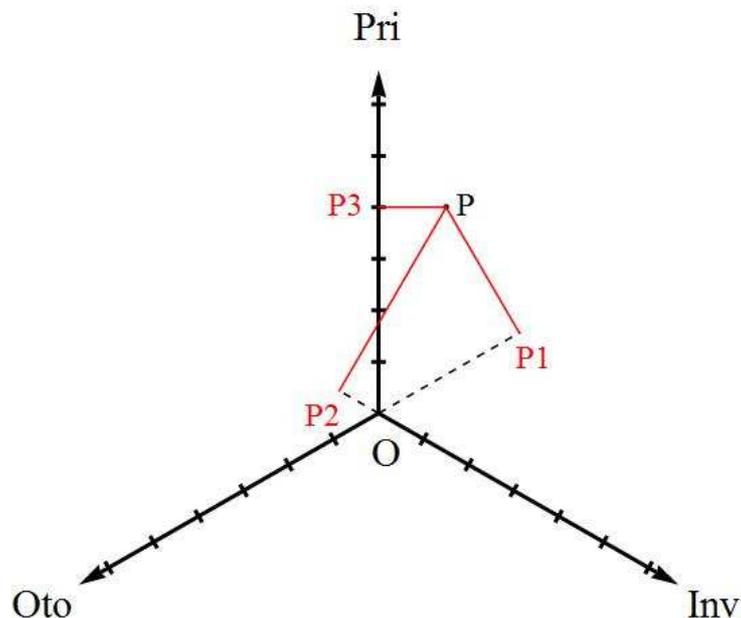


Fig. 4: Esquema del diagrama triangular

En el esquema se muestra el ejemplo de interpretación de los porcentajes asociados al punto P del mismo. Como se observa los porcentajes se pueden leer sobre la escala en cada uno de los tres ejes simétricos, proyectando ortogonalmente sobre el eje correspondiente, o su prolongación en cada caso. Si el punto P se mueve paralelamente a uno de los ejes varía más el porcentaje correspondiente al eje, y esa variación se distribuye en sentido contrario en los otros dos ejes de forma simétrica para compensar. Si en cambio P se mueve perpendicularmente a un

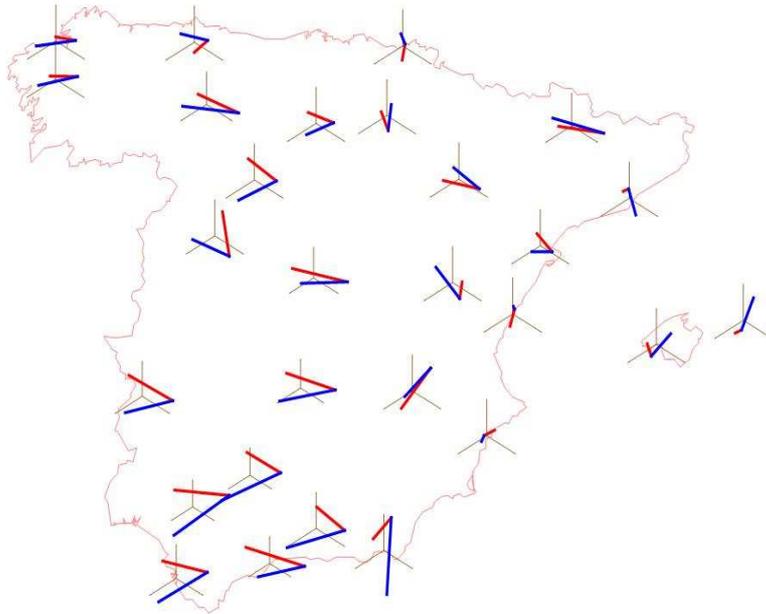
eje, el porcentaje de ese eje se mantiene constante, pero los otros dos varían en la misma cantidad con sentido contrario (para mantener el total).

### **Diagramas triangulares para los porcentajes medios estacionales en las tres treintenas de 1921-2010**

Los porcentajes de los totales estacionales de las tres treintenas sucesivos que cubren el periodo de 90 años 1921-2010 se han representado mediante diagramas triangulares en el mapa de la figura 5. En cada diagrama la línea roja une los puntos correspondientes a 1921-1950 y 1951-1980, y la línea azul une los puntos para 1951-1980 y 1981-2010. Los vectores básicos miden en estos diagramas 4 unidades porcentuales, lo que da idea de que los cambios de porcentajes entre periodos son pequeños, del orden del 4%. El origen se ha situado en el punto con los porcentajes estacionales medios para todo el periodo de 90 años para cada observatorio, al objeto de que el diagrama completo ocupe un espacio reducido para visualizarlo en un solo mapa para los 28 observatorios estudiados.

En el mapa observamos en los observatorios de la vertiente atlántica un patrón de V tendida aproximadamente en horizontal y con el vértice a la derecha, con el tramo rojo en la parte superior de la V. Esto indica, de acuerdo a la interpretación de este tipo de diagrama triangular explicada en el párrafo anterior, que entre las dos primeras treintenas hay un aumento marcado de la precipitación invernal y un descenso de la precipitación primaveral, mientras que el cambio entre las dos últimas treintenas implica un aumento acentuado de la lluvia otoñal y una disminución de la primaveral. En algunos observatorios casi no hay cambios en primavera, como sucede en Madrid, León y las dos gallegas. En Salamanca, en cambio, la V tan inclinada indica una disminución del porcentaje primaveral muy importante en las dos primeras treintenas.

Cuando cruzamos una línea norte-sur imaginaria sobre el mapa entre Bilbao y Almería, lo que corresponde aproximadamente al paso a la vertiente mediterránea, el cambio en los diagramas es muy claro. En primer lugar la forma de los mismos es más variable, y su magnitud en general inferior a la vertiente atlántica. El contraste, en muy pocos km, se aprecia claramente si comparamos Burgos con Logroño o Granada con Almería. En el primer caso vemos que Logroño muestra cambios alineados con el eje primaveral, es decir, los cambios en otoño e invierno son similares y menores que en primavera, y además todos los cambios son reducidos, del orden del 2%. En Almería destaca un descenso muy destacado en las dos últimas treintenas en primavera, con aumento compensatorio simétrico en otoño e invierno. En la cuenca del Ebro vemos patrones de cambio similares a los de la vertiente atlántica en la misma latitud. En cambio en las estaciones costeras mediterráneas desde Alicante hasta Barcelona los cambios son de escasa magnitud. En las Baleares sucede algo parecido, pero llama la atención el aumento primaveral especialmente en Mahón.



*Fig. 5: Mapa con los diagramas triangulares para los porcentajes medios estacionales en las tres treintenas de 1921-2010*

#### **Diagramas triangulares para los porcentajes medios estacionales en todo el periodo 1921-2010**

Desde un punto de vista climatológico sin duda tiene gran interés la descripción sumaria de los valores promedio en periodos largos de estas variables. En la figura 6 se ha dibujado el mapa con los diagramas triangulares para los valores medios a lo largo de los 90 años 1921-2010 de los totales pluviométricos estacionales para los observatorios estudiados. En este mapa el origen de cada diagrama triangular es el mismo, el punto simétrico de porcentajes (33.3, 33.3, 33.3). Los vectores básicos a lo largo de las tres estaciones otoño-invierno-primavera miden 10 unidades porcentuales.

Vemos que en el extremo correspondiente a porcentaje máximo otoñal (vector hacia SO) se agrupan observatorios de la cuenca mediterránea, como Castellón, Palma, Alicante, Barcelona y Tarragona, que muestran excesos sobre el punto simétrico de más del 10% (es decir, porcentajes otoñales del orden del 45% del total anual sin verano). En la dirección de predominio invernial (vector SE del diagrama) encontramos los observatorios de San Fernando (Cádiz) y Málaga, con excesos también del orden del 10%. Con menores excesos en la misma dirección están otros observatorios del SO y Galicia. En cambio los excesos en primavera son más moderados que los anteriores, del orden de un 6% en Teruel, Zaragoza y Albacete.

Si nos movemos en el sentido opuesto al indicado por cada vector básico encontramos observatorios con cada vez menos porcentaje para la estación del año marcada por el vector. Teruel marca el mínimo de porcentaje invernial (déficit superior al 10%), seguido a corta distancia por los observatorios del valle del Ebro. En las Baleares y el SO se da el mínimo porcentaje primaveral, mientras que el mínimo otoñal está más repartido, pero con déficits respecto al 33.3% que no superan el 5%. Curiosamente los observatorios con distribución más simétrica de los porcentajes estacionales se sitúan también cerca del centro geográfico de la Península, aunque también la meseta superior y Asturias son bastante simétricas.

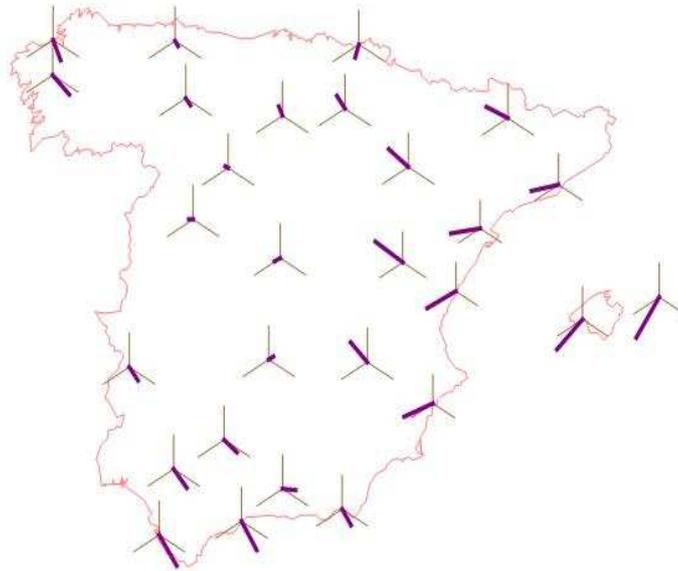


Fig. 6: Mapa con los diagramas triangulares los valores medios en 1921-2010 de los porcentajes estacionales de precipitación.

## REFERENCIAS

González-hidalgo, J.C. et al (2009): *Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000)* DOI: 10.1002/joc.1780 International Journal of Climatology Volume 29, Issue 10, pages 1415–1429

González-hidalgo, J.C. et al (2013): *Las tendencias de las precipitaciones en España en el período 1945-2005* En “Fenómenos meteorológicos adversos en España”, C. García-Legaz y F. Valero eds.

López Díaz, J.A. (2016): *Changes in seasonal precipitation regimes in Spain: a statistical significance study* Ponencia presentada en “International Symposium CLIMATE-ES 2015”, Tarragona 2015.

López Díaz, J.A. (2016): *Cambios en los regímenes pluviométricos estacionales en España* “Calendario Meteorológico 2016”, AEMET, ISSN-0213 3849, pags. 283-287