

# COMPARACIÓN DE LA TENDENCIA DE ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Concepción RODRÍGUEZ-PUEBLA\*, Ascensión H. ENCINAS\*\*, Susana NIETO\*\* y  
M<sup>a</sup> Dolores FRÍAS\*

\* Departamento de Física General y de la Atmósfera

\*\* Departamento de Matemática Aplicada  
Universidad de Salamanca

## RESUMEN

La sequía es uno de los desastres naturales más frecuentes en la península Ibérica dando lugar a delicados debates sobre los derechos a compartir el agua. Por este motivo, consideramos de gran interés proporcionar información sobre la tendencia de la precipitación acumulada así como de los índices de precipitación estandarizada y de precipitación efectiva de Gausson y de Köppen, obtenidos estos a partir de datos observados de precipitación y temperatura sobre la península Ibérica. De las conclusiones de este estudio destacamos la tendencia a disminuir tanto de la precipitación como de su efectividad en el periodo 1949-2005. La significación de la tendencia varía en los diferentes lugares de la península obteniendo mayor disminución hacia la cornisa cantábrica y hacia el sur peninsular. También, comprobamos que en el otoño la tendencia es creciente hacia el sur-oeste peninsular. Una posible causa de la inhomogeneidad en la distribución de la tendencia sería la diferente interacción entre los sistemas de circulación atmosférica con las características climáticas locales. Los resultados derivados de este trabajo tienen un especial interés en los estudios de impacto climático.

Palabras clave: Precipitación, Tendencia, Sequía, Aridez, Variabilidad climática, Península Ibérica.

## ABSTRACT

Drought is one of the most natural hazards that occurs in the Iberian peninsula, which has created concerns and debates about shared water rights. This current discussion has motivated this study to analyse the trend of precipitation, standardized precipitation index and the effective precipitation from Gausson and Köppen formulations by using observed data from different sources. One of the main results derived from the study is the decrease of the amount of precipitation along the period 1949-2005. The significance of this trend is not uniform across the Iberian Peninsula, the most significant decreasing trend is found toward the Cantabric coast and southern part of the peninsula. The distribution of the trend shows quite heterogeneity; for example, increase trend is found in Autumn to the west Peninsula. These results must be due to different relationships between atmospheric circulation and local climate which has to be taken into account in climate impact studies.

Key words: Precipitation, Tendency, Drought, Aridity, Climatic Variability, Iberian Peninsula.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un tema de gran interés climático es obtener la reacción de la precipitación e índices derivados de la misma al calentamiento global. Entre las hipótesis sobre las consecuencias del calentamiento se anuncia una tendencia de aumento de la precipitación como consecuencia de la mayor capacidad de la atmósfera para contener vapor de agua. Sin embargo, esta hipótesis parece discrepar de lo que se observa durante el periodo 1949 a 2005 en la península Ibérica. Evidentemente, hay otros factores que influyen en la variabilidad de la precipitación, como la proximidad al grado de saturación y los movimientos atmosféricos. En este trabajo vamos a presentar un análisis de tendencia a partir de datos de diferentes fuentes y para diferentes índices derivados de la precipitación. El objetivo inicial de este estudio es informar de los cambios de precipitación y de condiciones de aridez en la península Ibérica durante el periodo 1949 a 2005. Los resultados de esta aportación tienen interés para la toma de decisiones en aplicaciones hidrológicas y para investigaciones sobre impactos del calentamiento global en el ciclo del agua. Además, los estudios sobre el cambio climático requieren una descripción detallada de las características del clima en escalas regionales y locales para proyectar el impacto del calentamiento global en el ciclo hidrológico.

Los registros de precipitación muestran variaciones de gran magnitud. Los extremos, como inundaciones y sequías, son muy perjudiciales porque van acompañados de catástrofes y cuantiosas pérdidas. El trabajo de CASTRO et al. (2005), menciona las discrepancias sobre la tendencia de la precipitación observada, justificándolas porque se analizan datos de diferente procedencia, lugares y periodos, así como por la utilización de distintas metodologías. Estas consideraciones nos han motivado a desarrollar un estudio de comparación de datos de precipitación de las siguientes fuentes: datos provenientes de los Institutos de Meteorología de España y Portugal (se referirá como INM) de los que se dispone series en 55 lugares que abarcan el periodo 1949 a 2005. Datos del “*Global Historical Climatology Network*” (GHCN) preparados por Legates y Willmott (se referirá como LeWi), que cubren el periodo de 1950 a 1999, estos datos están interpolados a una resolución 0.5 x 0.5 (WILLMOTT and JOHNSON, 2005). Datos del Global Precipitation Climatology Project (se referirá como GPCP), estos datos forman parte del proyecto “*Global Energy and Water Cycle Experiment*” (GEWEX) del “*World Climate Research Program*” (WCRP) e incluyen datos desde 1979 obtenidos mediante combinación de observaciones “in situ” y observaciones de satélite (HUFFMAN et al, 1997, ADLER et al. 2003), su resolución es 2.5 x 2.5.

En primer lugar, comparamos la distribución y evolución de la precipitación indicada por los diferentes tipos de datos. Una vez que los datos de partida muestran evidencia de homogeneidad, obtenemos índices derivados de la precipitación. Los índices que utilizamos son: el índice de precipitación estandarizado (SPI), (WU et al. 2001, HEIM, 2005, HAYES et al 1999, CUADRAT PRATS y VICENTE-SERRANO, 2004); los índices de precipitación efectiva de Gaussen (<http://club.telepolis.com/geografo/clima/climograma.htm>) y de Köppen (CHANGNON, 2005). Estos índices se utilizan porque muestran mejor la evolución hacia situaciones de aridez y sequía al combinar los efectos de la cantidad de precipitación y temperatura. Finalmente, presentamos los resultados de tendencia para los diferentes lugares de la península mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall (SNEYERS, 1990). Los resultados muestran tendencia de disminución de la precipitación en las series anual, invierno, primavera y verano. Pero en el otoño obtenemos un comportamiento diferente, aumentando la precipitación de forma más pronunciada en la vertiente occidental respecto a lo que disminuye en la oriental (GONZÁLEZ-HIDALGO, 2001), dando como resultado un aumento de precipitación en la serie promedio arealar. También, comprobamos que existen discrepancias en la distribución espacial de la tendencia, lo cual justificaría, en cierto modo,

las diferentes tendencias que fueron indicadas en otras publicaciones que han tratado el tema de la variación de la tendencia de precipitación.

## 2. RESULTADOS

### 2.1. Tendencia en series de precipitación

La climatología promedio de la precipitación de las diferentes bases de datos se muestra en las figuras 1a, 1b y 1c. Las del INM y LeWi presentan configuraciones muy parecidas. La distribución que proporciona la base de datos GPCP resuelve peor los detalles espaciales. Este resultado era de esperar dada su menor resolución como se muestra en los puntos de malla considerados. La isoyeta de 600 mm permite dividir la península en dos zonas diferenciadas por el régimen de precipitación, noroeste y sureste, lo cuál impacta en el color del paisaje que se observa desde el aire.

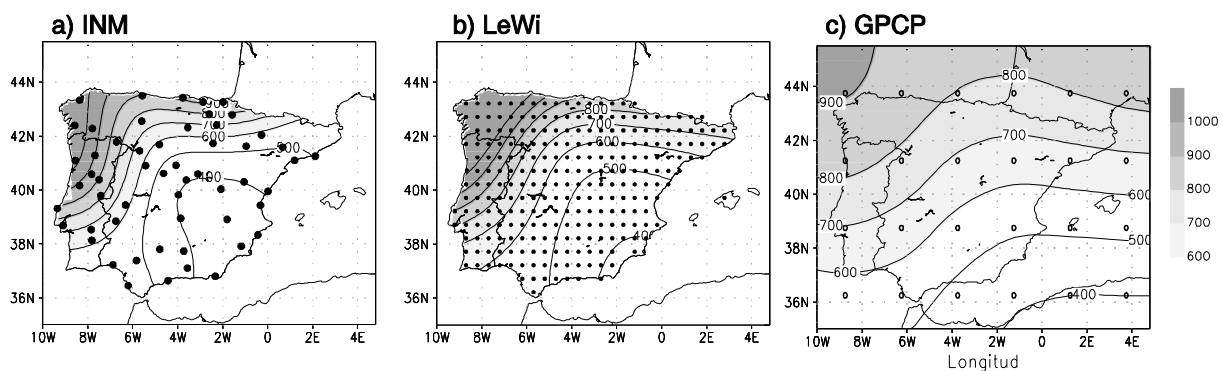


Fig. 1: Distribución de la precipitación acumulada anualmente en la península Ibérica según datos observados de: a) Instituto Nacional de Meteorología de España y Portugal (INM); b) Legates y Willmott (LeWi); c) “*Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*” .

La evolución de la precipitación anual obtenida al promediar todos los datos sobre la península o promedio arealar se muestra en la figura 2. Las series INM y LeWi indican claramente tendencia de disminución. Además las figuras 2a y 2b muestran una buena asociación entre las fluctuaciones, como da cuenta el coeficiente de correlación entre ambas series  $0.97 \pm 0.009$ . Sin embargo, la evolución de la serie GPCP promedio anual no muestra una tendencia significativa. En este caso la serie comienza en 1979, lo cuál dificulta la comparación. Para identificar otras componentes de variabilidad hemos estimado la densidad espectral de la serie anual de precipitación promedio para toda la península, mediante el método FFT (Fast Fourier Transform), aplicando la ventana espectral de Bartlett-Priestley (IMSL 1997). Tanto en las series INM como LeWi destacan las variaciones en torno a 9 y 3 años, siendo más significativa la de 3 en el caso de los datos INM y la de 9 en los datos LeWi.

Estas variaciones se superponen a la componente de tendencia y a otras oscilaciones menos significativas dando lugar al carácter caótico de la evolución de la precipitación. En este trabajo nos centramos en el análisis de la componente de tendencia para diferentes lugares (según los datos INM) o cada punto de malla (según los datos de LeWi) mediante el coeficiente de Mann-Kendall como lo realizan KARL y KNIGHT (1998) para Estados Unidos.

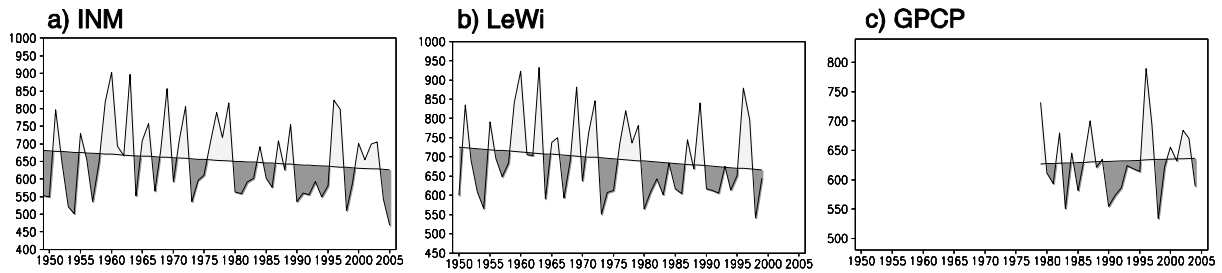


Fig. 2: Evolución de la precipitación acumulada anualmente y promediada para el área de la península Ibérica según los datos: a) INM; b) LeWi y c) GPCP

En la figura 3 se visualiza la significación de la tendencia mediante triángulos con el vértice hacia arriba (si crece) o hacia abajo (si decrece) y cuyo tamaño es proporcional a la significación. Para las series anuales observamos discrepancias espaciales entre los valores de INM y de LeWi, aunque la zona del Cantábrico y la parte sur peninsular ofrecen un comportamiento similar y con tendencia de disminución bastante significativa en ambos casos.

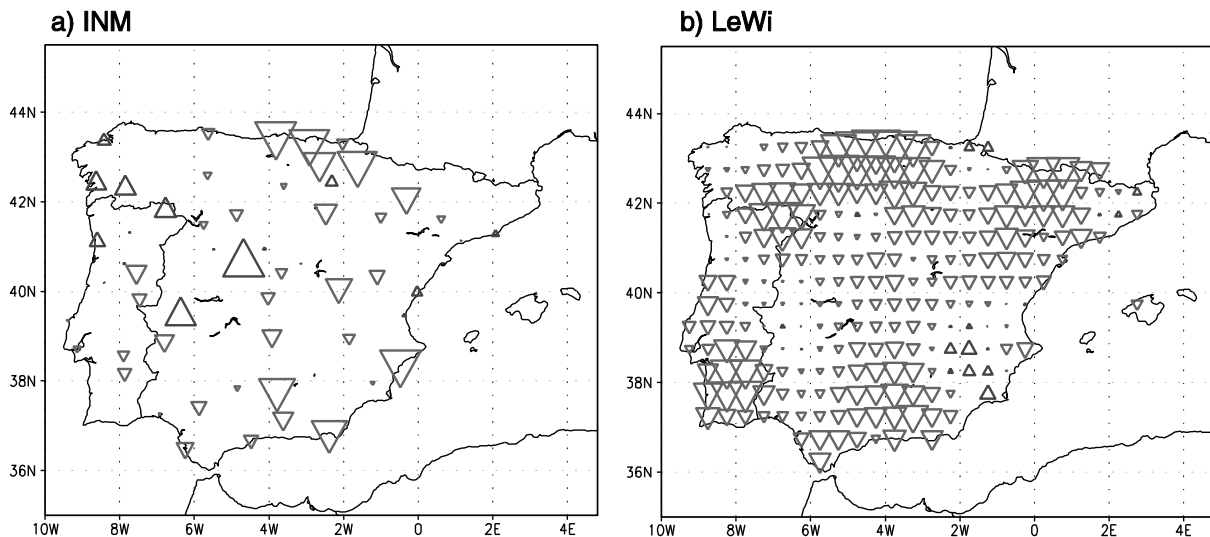


Fig. 3: Significación de la tendencia de la precipitación acumulada anualmente según los datos de: a) INM y b) LeWi. Triángulo con vértice hacia arriba indica precipitación creciente y triángulo con vértice hacia abajo indica decreciente. El tamaño del triángulo es proporcional a la significación de la tendencia.

En cuanto al comportamiento temporal de la tendencia de la precipitación se observa que esta cambia estacionalmente. La figura 4 muestra la evolución promedio arealar para el invierno, primavera, verano y otoño con datos INM y LeWi. Ambas bases de datos indican el mismo comportamiento. En el invierno, primavera y verano la precipitación disminuye, mientras que en el otoño aumenta. Sin embargo, este comportamiento no es uniforme para toda la península. Por ejemplo, en la primavera la disminución es más acusada en la vertiente sur-occidental mientras que en el otoño aumenta hacia la parte sur-occidental de la península y disminuye en la vertiente Mediterránea. Un análisis con simulaciones climáticas permitiría

reconocer las causas de las tendencias de la precipitación, e indicar el papel que desempeñan los agentes externos al propio sistema climático. Este trabajo será objeto de otros estudios.

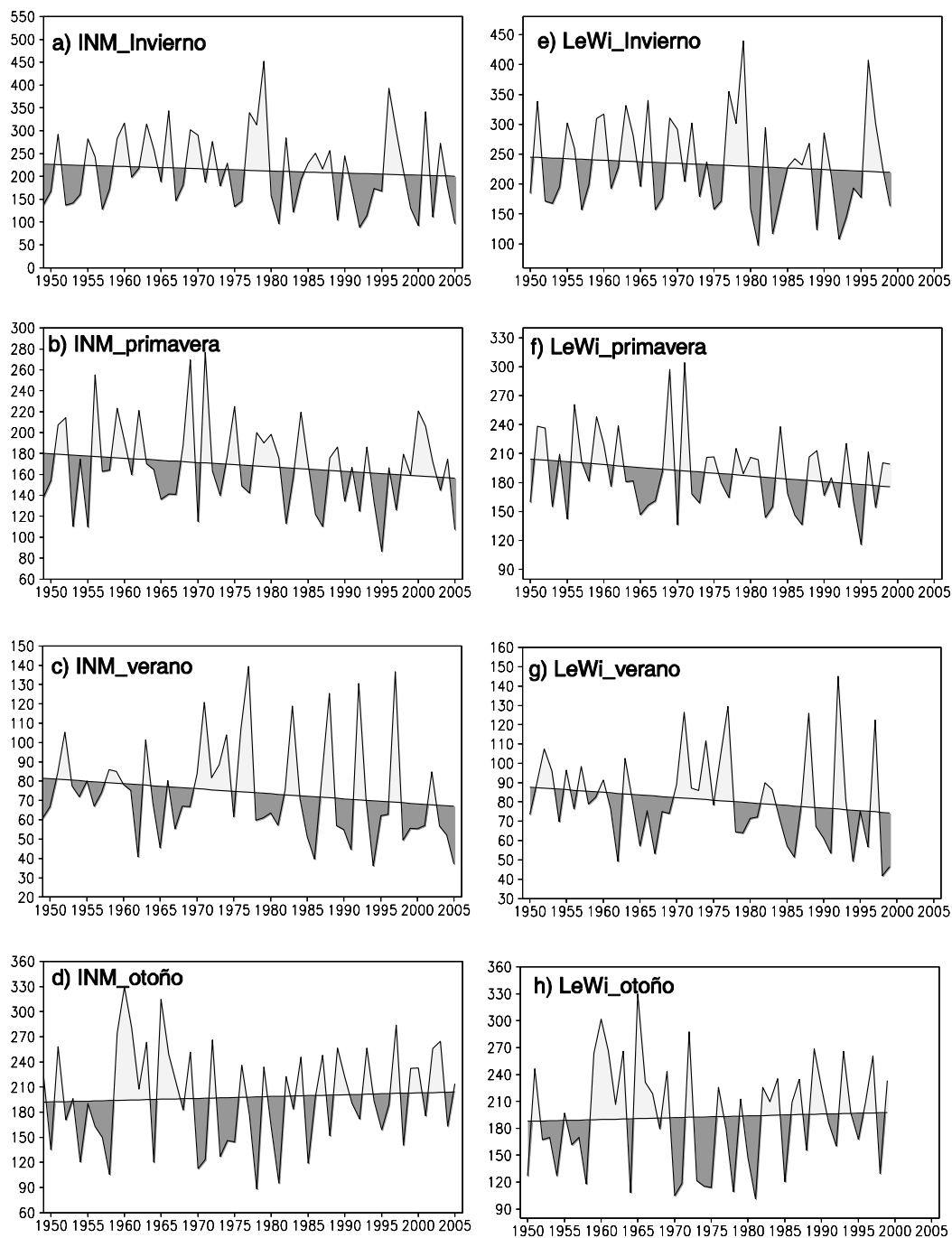


Fig. 4: Evolución de la precipitación acumulada trimestralmente según los datos INM y LeWi: Invierno (a) y (e) (correlación= $0.97\pm 0.01$ ); primavera (b) y (f) (correlación= $0.98\pm 0.005$ ); verano (c) y (g) (correlación= $0.95\pm 0.02$ ); otoño (d) y (h) (correlación= $0.92\pm 0.03$ ).

## 2.2. Tendencia de índices de precipitación

### 2.2.a. Índice de precipitación estandarizado

Los fenómenos atmosféricos que causan mayor preocupación son los extremos, por ejemplo, excesivo calor o frío, inundaciones o sequías. El déficit de precipitación es un indicador de la sequía y con este criterio McKee, N. Doesken y J. Keist formulan el índice de precipitación estandarizado (SPI) (GUTTMAN, 1999; VICENTE SERRANO y CUADRAT PRATS, 2002; VICENTE-SERRANO y LÓPEZ-MORENO, 2005; LANA et al. 2001).

Con este índice se asigna un valor numérico estandarizado a la cantidad de precipitación acumulada en un periodo de tiempo, lo cual facilita la comparación de las características de precipitación en climas diferentes. El índice mide lo que se desvía la magnitud estandarizada dependiente de la precipitación respecto al valor medio. Como la precipitación no se ajusta a una distribución normal es preciso aplicar a la serie transformaciones para que cumpla los requisitos estadísticos. El valor 0 indica que la mitad de las precipitaciones están por debajo de la mediana. Valores negativos indican condiciones más secas de lo normal y valores positivos indican condiciones más húmedas. Si los valores están por debajo de -2 o por encima de +2 las condiciones son extremadamente secas o húmedas respectivamente.

En la figura 5a se muestra la evolución del SPI para una escala de 12 meses, de enero a diciembre. Los resultados para la serie promedio arealar indican la tendencia de disminución del SPI. En la figura 5b mostramos la distribución espacial de la tendencia. De los valores representados en esta figura observamos una mayor disminución hacia el Cantábrico oriental y SE peninsular. Estos resultados son consistentes con los obtenidos para la precipitación. En la evolución de SPI destacamos los episodios secos más largos que se producen a partir de 1980.

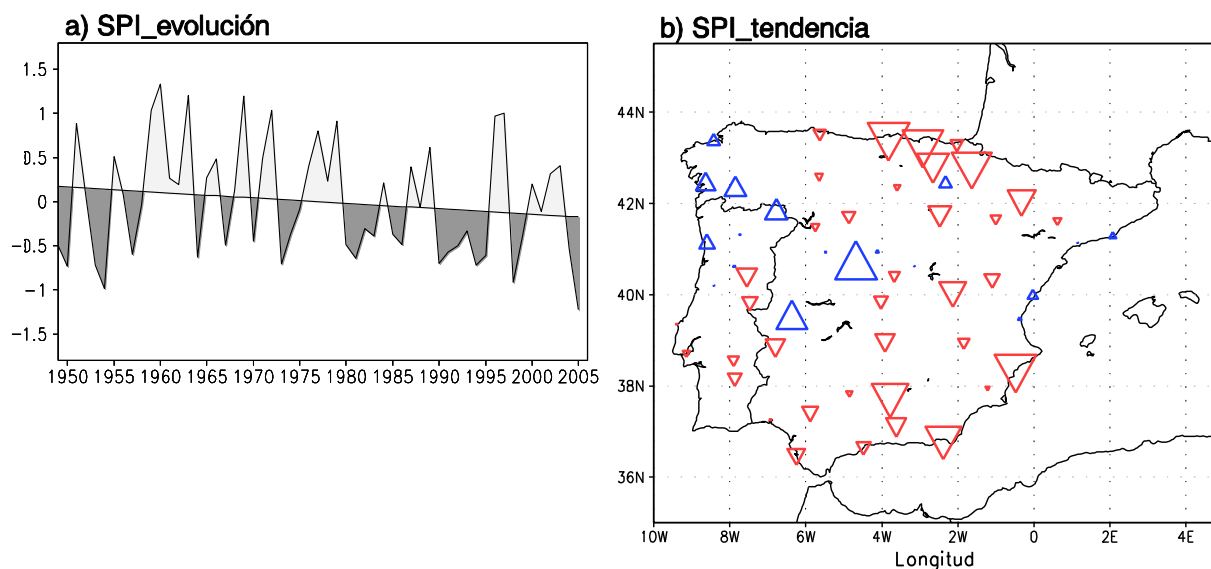


Fig. 5: Evolución (a) y tendencia (b) para el índice de precipitación estandarizado en escala de 12 meses de enero a diciembre.

### 2.2.b. Índice de Gaussen

Los climogramas son representaciones conjuntas de precipitación y temperatura e informan de las características climáticas locales. Utilizando los criterios para elaborar los climogramas se deriva el índice de Gaussen (IG) que combina la precipitación y la temperatura. La serie de

Gausse para climas mediterráneos se obtiene restando a la precipitación (mm/mes) el valor de la temperatura (°C) multiplicada por 2. El hecho de multiplicar la temperatura por el factor 2 es equivalente a transformar esta magnitud en una precipitación de referencia. Los resultados negativos indican condiciones áridas. El efecto conjunto de disminución de precipitación y aumento de temperatura produce una disminución del índice bastante significativa, como se puede observar en la figura 6a. La significación de la disminución es mayor en el cantábrico oriental y en el sureste peninsular como muestra la figura 6b.

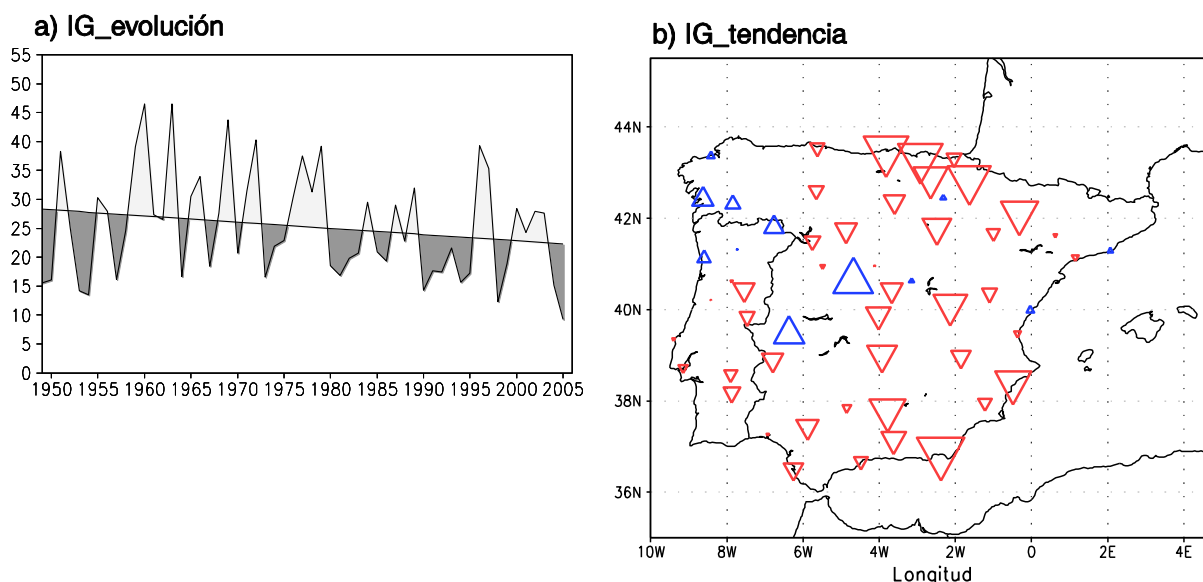


Fig. 6: Evolución (a) y tendencia (b) del índice de aridez de Gausse.

### 2.2.c. Índice de precipitación efectiva de Köppen

Este índice (IK) combina la precipitación y temperatura y va a indicar la precipitación efectiva, incluyendo, por lo tanto, el efecto de disminución de la efectividad de la precipitación al aumentar la temperatura. Se obtiene dividiendo la precipitación por la precipitación de referencia. La precipitación de referencia, para valores mensuales y con precipitación irregularmente distribuida a lo largo del año, se determina mediante la siguiente formulación (AHRENS, 2000):

$$R_0 = 2.11(0.44 T(^{\circ} F) - 8.6)$$

$$IK = \frac{R}{R_0}$$

En donde  $R_0$  es la precipitación de referencia,  $T$  la temperatura en grados Fahrenheit,  $R$  es la precipitación y  $IK$  es el índice de Köppen.

La figura 7a informa de como la efectividad de la precipitación va disminuyendo con el tiempo. Además, se observa también como los periodos con valores inferiores a la media son más largos. La distribución espacial de tendencias (figura 7b) es muy parecida a las que proporcionan los índices IG, SPI y a la precipitación acumulada anualmente.

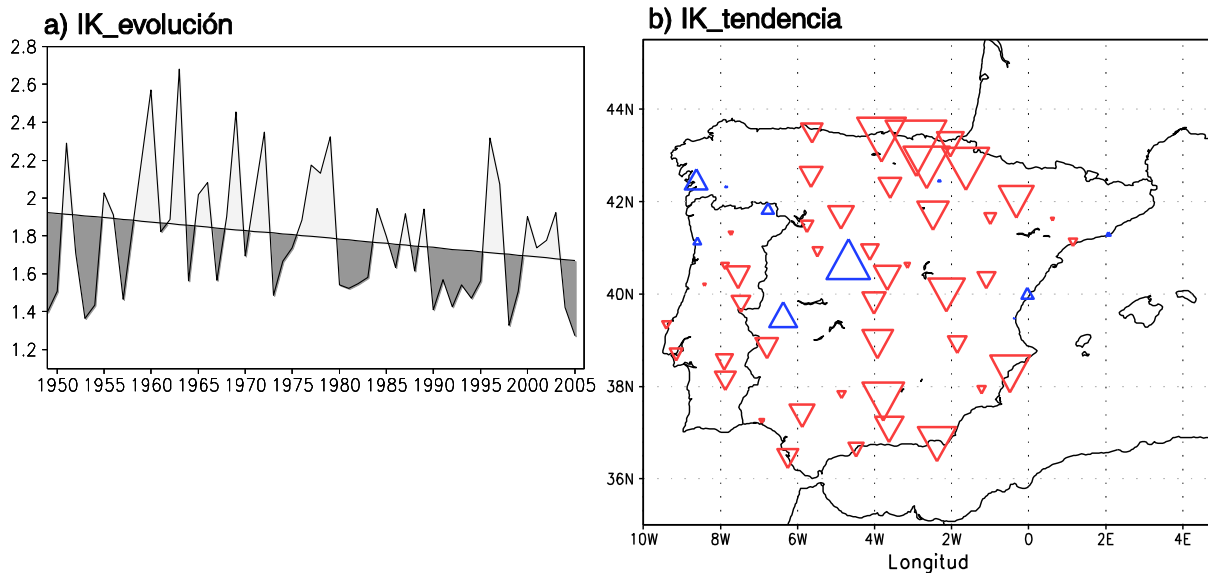


Fig. 7: Evolución (a) y tendencia (b) del índice de aridez de Köppen.

### 3. CONCLUSIONES

El estudio realizado aporta información local y regional de las evoluciones de la precipitación y de los índices de aridez derivados. Destacamos los siguientes resultados: la precipitación observada y el índice de precipitación estandarizado muestran tendencia de disminución bastante significativa para el conjunto de lugares de la península durante el periodo 1949-2005. Los índices de precipitación efectiva reflejan, con mayor dramatismo, la disminución de la eficacia de la precipitación ya que incluyen el efecto de aumento de temperatura. En trabajos previos (GOODESS C.M. and P.D. JONES, 2002; RODRÍGUEZ-PUEBLA et al., 2001) se demuestra que una de las causas de la variabilidad de la precipitación son los regímenes de circulación e índices de teleconexión. Aunque en este trabajo no se analizan las causas que ocasionan la disminución de la precipitación, es probable que los factores antropogénicos puedan estar cambiando las estructuras y ocurrencia de estos regímenes de circulación estables y persistentes (CORTI et al., 1999). Este aspecto afectaría, de manera importante, a la variabilidad de la precipitación regional así como al ciclo hidrológico. Sin embargo, la interacción de la circulación con características locales orográficas y de superficie produce heterogeneidad en las tendencias, lo cuál podría justificar las discrepancias encontradas entre las publicaciones que analizan la tendencia. También, hemos comprobado que esta heterogeneidad en la tendencia es bastante más acusada en el otoño. El aumento de la precipitación en la vertiente occidental y la disminución en la oriental produce un aumento de precipitación en promedio para esta estación climática. Para las demás épocas del año obtenemos tanto disminución de la precipitación como de los índices representativos de su efectividad, lo cual es conveniente anunciar para tomar medidas adecuadas. Esta investigación se complementará en posteriores estudios, que se centrarán en analizar la contribución de los extremos de precipitación a la variabilidad así como en la identificación de posibles causas en las variaciones de tendencia. En este sentido el uso de simulaciones climáticas podría ayudar a determinar el efecto de factores externos al sistema climático.

### 4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con ayuda de los siguientes proyectos: MEC-CGL2005-06600-C03-01/CLI y de la Junta de Castilla y León: SA039A05. Deseamos expresar nuestro



agradecimiento a los proveedores de datos: los Institutos de Meteorología de España y Portugal, al Global Precipitation Climatology Project (GPCP) y al grupo investigador de Cort J. Willmott por los datos LeWi. También agradecemos a los desarrolladores del software GrADS que utilizamos para el análisis y representación de los datos.

## 5. REFERENCIAS

- ADLER R. F., G.J. HUFFMAN, A. CHANG, R. FERRARO, P.-P. XIE, J.E. JANOWIAK, B. RUDOLF, U. SCHNEIDER, S. CURTIS, D. BOLVIN, A. GRUBER, J.SUSSKIND, P.A. ARKIN and E. NELKIN (2003). "The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-Present)". *J. Hydrometeor.*, 4, pp.1147-1167
- AHRENS, C.D. (2000). *Meteorology Today*. Brooks Cole, Thomson Learning
- CASTRO M., J. MARTÍN-VIDE y S. ALONSO (2005). "El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI". A preliminary assessment of the impacts in Spain due to the effects of climate change. Ministry of the Environment.
- CORTI, S.; MOLteni, F. and T.N. PALMER (1999). "Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes". *Nature*, 398, pp.799-802
- CUADRAT PRATS, J.M. y S.M. VICENTE-SERRANO (2004). "Comportamiento de las sequías en la península Ibérica: análisis mediante el Standardized Precipitation Index". en: *El clima entre el mar y la montaña*. Pub de la AEC. pp.245-254
- CHANGNON S.A. (2005). "Applied climatology. The golden age begun". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, pp.915-919
- GONZÁLEZ-HIDALGO J.C., M. DE-LUIS, J. RAVENTOS y J.R. SANCHEZ (2001). "Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western Mediterranean area". *Int. J. Climatol.*, 21, pp.843-860
- GOODESS C.M. y P.D. JONES (2002). "Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall". *Int. J. of Climatology*, 22, pp.1593-1615
- GUTTMAN N.B. (1999). "Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm". *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 35, pp.311-322
- HAYES M.J., M. D. SVOBODA, D.A. WILHITE y O. V. VANYARKHO (1999). "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, pp.429-438
- HEIM R.R. Jr. (2005). "Computing the monthly Palmer Drought Index on a weekly basis: A case study comparing data estimation techniques". *Geophys. Res. Lett.*, 32, pp.L06401, doi:10.1029/2004GL022118,
- HUFFMAN G.J., R.F. ADLER, P.A. ARKIN, A. CHANG, R. FERRARO, A. GRUBER, J.E. JANOWIAK, A. MCNAB, B. RUDOLF and U. SCHNEIDER (1997). "The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, pp.5-20
- IMSL 1997: *Fortran subroutines for statistical Applications. Stat/Library vol. 1 and 2*, Visual Numeric S.A.
- KARL, T.R. and R.W. KNIGHT (1998). "Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, pp.231-241
- LANA, X., C. SERRA and A. BURGUEÑO (2001). "Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain)". *Int. J. of Climatology*, 21, pp.1669-1691
- RODRÍGUEZ-PUEBLA C., A.H. ENCINAS and J. SÁENZ (2001). "Winter precipitation over the Iberian peninsula and its relationship to circulation indices". *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 5, pp.233-244
- SNEYERS, R.(1990). On the statistical analysis of series of observations. W.M.O. N° 415, *Technical Note N° 143*

VICENTE SERRANO, SM. y J.M<sup>a</sup> CUADRAT PRATS (2002). "Desarrollo de un método para la obtención del SPI (Standardized Precipitation Index) como herramienta para el seguimiento y prevención de sequías climáticas". en: *La información climática como herramienta de gestión ambiental*. Universidad de Zaragoza pp.145-153

VICENTE-SERRANO, S.M. y J.I. LÓPEZ-MORENO (2005). "Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin". *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 2, pp.1221-1246

WILLMOTT C.J. AND M.L. JOHNSON (2005). "Resolution errors associated with gridded precipitation fields". *Int. J. Climatol.*, 25, pp.1957-1963

WU, H., M. J. HAYES, A. WEISS, y QI HU (2001). "An Evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score". *Int. J. Climatol.*, 21, pp.745-758