

## ADAPTACIÓN DEL S.P.I. PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD INTRA-ANUAL DE PERIODOS SECOS

Carlos ALMARZA, Andrés CHAZARRA y Beatriz PERAZA  
*Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.*

### RESUMEN

El *Standardized Precipitation Index* es un índice de sequía que permite fijar la longitud y la intensidad del fenómeno. Se adapta al caso español utilizando un ajuste logaritmo normal de las series de precipitación media mensual de las grandes cuencas hidrográficas para periodos de uno a doce meses. Los resultados muestran ausencia de tendencias significativas en la distribución intra-anual de los periodos secos.

**Palabras clave:** S.P.I., sequía, racha seca, tendencias.

### ABSTRACT

The Standardized Precipitation Index is used to measure the strenght and the lenght of time of drought. It was adapted to the spanish case by fitting the series of monthly mean precipitation of the large basins, covering time scales from one to twelve months, to make them follow a lognormal distribution. The results show an absence of significative trends in the intra-annual distributions of dry periods.

**Key words:** S.P.I., drought, dry run, trends.

### 1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la sequía surge cuando se presenta durante un período de tiempo una disminución inusual de las disponibilidades de agua dulce en una determinada área geográfica que repercute sensiblemente en las actividades económicas y sociales. Las numerosas formas de caracterizar la sequía a través de diversos índices son consecuencia de los distintos enfoques del problema (agrícola, hidrológico, económico, etc) y los diferentes resultados que se obtienen producen con frecuencia cierta confusión.

Desde un punto de vista climático la mayoría de los índices se basan en una evaluación de la aportación de agua de origen atmosférico: la precipitación. La sequía se produce cuando hay ausencia, escasez o anómala distribución espacial o temporal de la lluvia. La precipitación es el factor individualmente considerado que obviamente tiene mayor influencia en la sequía, pero no es el único factor que desencadena el fenómeno. Los valores extremos de los elementos climáticos, junto con el resto de los estadísticos, permiten describir el clima de una región. La sequía es un

fenómeno extremo, con repercusiones negativas en la sociedad, aunque el carácter catastrófico de una sequía viene condicionado no sólo por el déficit de precipitación, sino también, por el impacto que produce en las personas y en los bienes. La sequía difiere de otros fenómenos meteorológicos en su aspecto temporal. En general, es difícil determinar con claridad su principio y su finalización, y por tanto su duración. El seguimiento de la sequía es fundamental para alertar a la sociedad sobre la evolución del fenómeno con el fin de que actúe sobre los mecanismos paliativos.

Un índice de sequía que se utiliza con demasiada generalidad en nuestro país es el índice de pluviosidad o anomalía pluviométrica, que no es otra cosa que la razón entre la precipitación observada y la precipitación media calculada en un periodo suficientemente largo. El índice de pluviosidad presenta el inconveniente de la falta de agrupación de los valores anuales o mensuales de la serie de datos entorno a la media, y este valor no coincide con el valor central de la serie ordenada (mediana), es decir, el valor medio carece de la representatividad adecuada y por tanto no puede servir como tipo de comparación, o lo que es lo mismo, los datos de las series pluviométricas no se ajustan bien a una distribución normal. No obstante, en regiones templadas con precipitaciones moderadas o altas, esta falta de normalidad es menos patente que en las regiones de escasa pluviometría y gran variabilidad interanual de la precipitación. Este inconveniente del índice de pluviosidad es más acusado cuando se estudia la distribución espacial del índice para delimitar la extensión de una sequía en regiones con distintos tipos de climas, como es el caso de nuestro país, y ocurre con frecuencia que zonas con un 80% de pluviosidad se incluyan dentro de la región afectada por la sequía, cuando son valores cercanos a la mediana de la serie.

Si se disponen de series lo suficientemente largas (de al menos treinta años) el método más realista consiste en utilizar la distribución empírica y seguir la metodología de Gibbs and Maher (1967). El grado de intensidad de la sequía se fija asignando a la precipitación mensual o anual el decil correspondiente de la serie histórica.

Se puede conseguir un cálculo de los deciles mediante el ajuste de una distribución estadística con los datos de la serie, siempre y cuando el ajuste sea satisfactorio. En el supuesto de que los datos de precipitación se ajusten a una distribución normal, el 68% de los datos estarán comprendidos en el intervalo  $\bar{P} \pm S$  y el 95% en el  $\bar{P} \pm 2S$ , respectivamente, y el primer decil estará a  $1,28 S$  por debajo del valor medio. Cuando el ajuste normal no es satisfactorio, hecho frecuente en nuestro país, hay que ensayar un ajuste normal del logaritmo de la precipitación, ley Galton, o bien un ajuste de la función gamma.

## 2. DURACIÓN DE UNA SEQUÍA

Los índices de sequía comentados permiten realizar valoraciones cuando el fenómeno ha concluido, fecha relativamente fácil de fijar cuando se presentan lluvias continuadas que provocan la saturación del suelo y provocan escorrentías superficiales que aumentan los caudales de la red hidrográfica. Sin embargo, hay pocos métodos, y en nuestra opinión poco satisfactorios, que permitan un seguimiento adecuado de las sequías.

Una manera de analizar la duración o persistencia consiste en la delimitación de rachas secas, considerando como tales los conjuntos de años o meses seguidos cuya precipitación queda dentro

de un intervalo frecuencial elegido; por lo común se utiliza el intervalo del 40% de los años o meses más secos. Sin embargo, no todas las secuencias secas de igual longitud se pueden considerar iguales, es necesario fijar su intensidad. Un criterio que se utiliza para fijar la intensidad de la racha (ALMARZA, 1991) consiste en comparar la precipitación acumulada de la racha con la precipitación media, que es lo mismo que aplicar un índice de pluviosidad de racha, método que adolece de los defectos inherentes al empleo de valores medios para elementos climatológicos que no se distribuyen normalmente, ni siquiera simétricamente.

Por otra parte, existen periodos secos constituidos por conjuntos de años o meses seguidos cuya precipitación acumulada es incluso inferior a la de las rachas secas de igual duración, pero que no constituyen una racha seca, en los términos en que se ha definido ésta, por contener algún año o mes cuya precipitación no corresponde al intervalo frecuencial elegido. Para salvar este inconveniente se procede al cálculo de los valores móviles acumulados en periodos de 2,3,4 etc. años o meses. El estudio de estas series de valores móviles acumulados permite fijar con precisión la intensidad de las rachas a partir de la frecuencia empírica de cada una de ellas.

El seguimiento de la sequía a través del balance hídrico (índice de Palmer) resulta más convincente que el método anterior para delimitar las fechas de comienzo y fin del período seco, pero es necesario conocer la capacidad de reserva máxima de saturación del terreno estudiado. Aunque se suele aceptar que es de 100 mm., esto no deja de ser una simplificación muy grosera, dado que esta capacidad es función de las características edáficas de la zona, que son muy variables y que además pueden ser modificadas artificialmente, como es bien sabido, con las faenas agrícolas. Aunque el seguimiento de la sequía propuesto por Palmer adolece de estos defectos, es útil para evaluar las cantidades adicionales de agua necesarias para los cultivos.

Se han ensayado también pruebas no paramétricas, que no suponen hipótesis adicionales sobre el tipo de distribución de frecuencias que describe la precipitación. Entre ellas está la que utiliza el coeficiente de Kendall como coeficiente de atributos y que relaciona la secuencia de las precipitaciones de cada mes de un determinado año con la secuencia base obtenida con los valores medios mensuales para un periodo largo, ordenados estos valores medios de mayor a menor (GUERRA, 1996).

### 3. METODOLOGÍA

El S.P.I. (*Standardized Precipitación Index*, MCKEE 1993-1995) es un índice de sequía, relativamente sencillo, que considera como elemento condicionante del fenómeno la precipitación, y que puede calcularse para periodos de tiempos variables. Este índice permite fijar el comienzo y el fin de la sequía, así como su intensidad.

El cálculo del índice requiere disponer de series de precipitación largas, de al menos treinta años de longitud. Con la serie climática se ajusta la ley de distribución de frecuencias que mejor describa el fenómeno climático y seguidamente se transforma en una distribución normal de media cero y desviación típica la unidad. A cada valor de precipitación acumulada en un periodo temporal de 2, 3, ... 24, ... 48 meses se la asigna un valor de SPI que, en definitiva, representa la probabilidad de ocurrencia de ese valor concreto. Los valores positivos del SPI representan las probabilidades de ocurrencia de los valores de la precipitación superiores a la mediana y los negativos corresponden

a los valores inferiores a la misma. En los trabajos originales de McKee se utiliza para el cálculo del índice la distribución gamma incompleta ajustada con las series de precipitación acumulada. En la fig. 1 se representa la clasificación de los periodos secos o húmedos según el S.P.I., y su correspondencia con la clasificación de Gibbs.

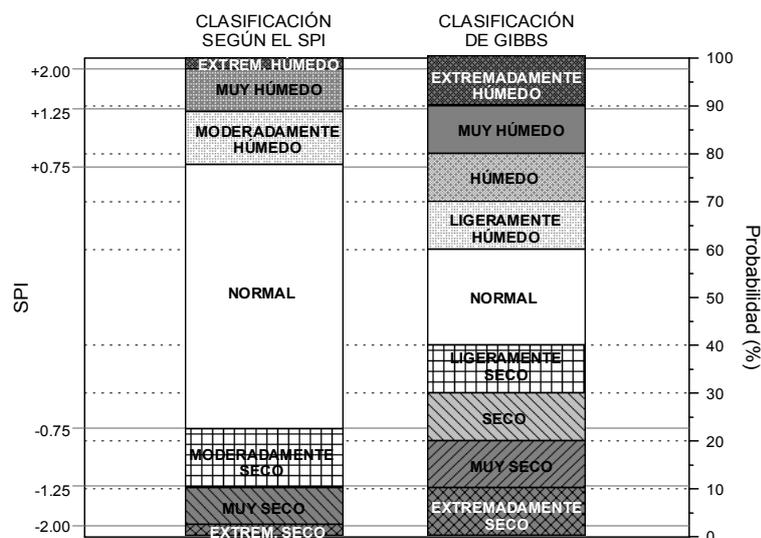


Figura 1

El índice original de McKee se ha aplicado a los valores de precipitación media mensual de las grandes cuencas hidrográficas peninsulares obtenidos por el método de la isoyeta media. El año de comienzo se remonta a 1947. Como el cálculo preciso de las precipitaciones medias a través del método citado requiere la información pluviométrica completa de cada cuenca y la mayor parte de ella proviene de la red pluviométrica, cuyos datos no están disponibles en tiempo reciente, se diseñó un modelo de correlación múltiple paso a paso (ALMARZA *et al*, 1999) con el que se ajustaron los parámetros del algoritmo predictor de las precipitaciones medias en función de las precipitaciones mensuales de las estaciones climatológicas principales de cada una de las cuencas hidrográficas. Con este modelo se realiza una estima de la precipitación media de cada cuenca en tiempo casi real a partir de los datos de un conjunto mínimo de estaciones de cada cuenca, lo que permite efectuar el análisis y el seguimiento de la sequía con el SPI. Aunque las series de datos acumulados de 2 a 12 meses se ajustan en su mayoría y sobre todo las correspondientes a la vertiente atlántica a una distribución normal, con el fin de adoptar una metodología única para todas las series se han utilizado las series de los logaritmos de los datos originales (Ley Galton) y se ha comprobado la bondad de los ajustes con el test de  $\chi^2$  de Pearson para un nivel de significación del 0,05.

Con esta transformación el cálculo del SPI es inmediato, de manera que el logaritmo de la precipitación estandarizado nos da precisamente el valor del índice, y por tanto la frecuencia de ocurrencia. Este índice es, en definitiva, el número de veces, expresado en unidades de desviación estándar, en que el valor de la precipitación observada se separa de la media de la serie larga de precipitación. La principal ventaja de este índice consiste en que se asigna a la precipitación un único valor numérico, y que son comparables los valores obtenidos en zonas climáticamente muy distintas.

#### 4. COMPORTAMIENTO DEL S.P.I.

El año 1990 marca el inicio de un periodo seco en gran parte de la península, tras un año 1989 que fue extraordinariamente lluvioso en la mitad sur y muy seco en la vertiente cantábrica. El periodo 1990–1995 (años civiles) fue tan extraordinariamente seco en la mayor parte de nuestro país que en muchas regiones españolas la precipitación acumulada en estos seis años estuvo comprendida en el intervalo del 10% de los periodos consecutivos de seis años más secos desde 1930. Dentro de este periodo seco, el año 1993 se comportó desde un punto de vista pluviométrico como normal. Los datos de 1994 ponen de manifiesto que este año fue tan anormalmente deficitario en precipitación que en los observatorios de Cádiz, Ciudad Real, Toledo, Murcia y Alicante se registraron las precipitaciones más bajas desde principios de siglo. En Cádiz hemos de retroceder hasta 1869 y 1874 para encontrar registros inferiores a los 284 mm. totalizados en 1984.

En la fig.2 se representa el valor del índice SPI para la cuenca del Guadalquivir entre Diciembre de 1994 y febrero de 1996, calculado a partir de los valores de precipitación acumulada desde septiembre de 1994. Se observa que el índice de sequía descende hasta  $-2,2$  en octubre de 1995 para luego ir ascendiendo hasta enero de 1996. Las lluvias de diciembre de 1995, aunque muy importantes, por sí solas no ponen fin a la larga sequía, que no finaliza hasta el mes siguiente.

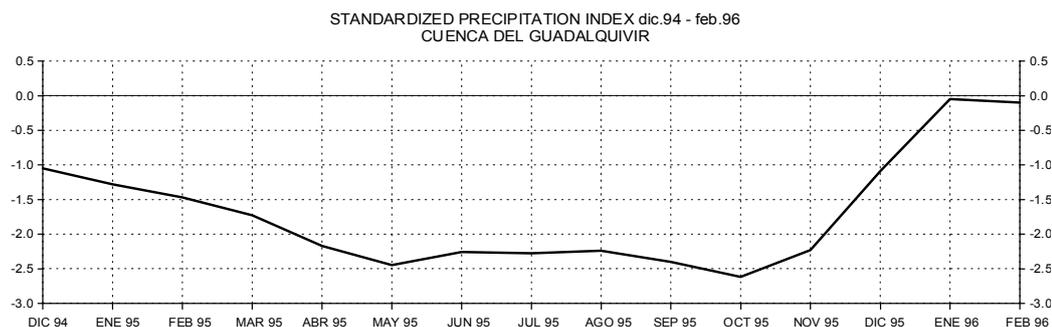


Figura 2

### 5. VARIABILIDAD DE LAS SEQUIAS. APLICACIÓN A LA CUENCA DEL DUERO

Con los datos de precipitación media acumulada desde primero de septiembre a finales de agosto de cada año (año hidrológico) desde 1936-1937 hasta 1997-1998 se han calculado con la técnica anteriormente descrita, los SPI para escalas temporales de uno a doce meses y se han analizado cada una de estas series.

Antes de iniciar el análisis de las series temporales del índice, se ha comprobado si el ajuste previo de la distribución logaritmo normal era aceptable, en otras palabras si el logaritmo de las precipitaciones acumuladas para distintas escalas temporales se distribuye normalmente. Para ello, se utilizó el test  $\chi^2$  de Pearson y en todos los casos y para un nivel de confianza del 95% nos condujo a aceptar la hipótesis nula, es decir, a aceptar la normalidad de las series de los logaritmos.

El análisis de homogeneidad de cada serie se efectuó primero con el test de Thom, que es un caso simplificado del test de correlación serial. En ningún caso presentó resultados positivos de correlación de las series.

En el cuadro I se presentan los resultados obtenidos con este test y con el de Mann-Kendall, que no son significativos a un nivel de confianza del 95%.

	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
u(t)	-1,08	0,15	0,77	1,10	0,72	0,77	-0,07	-0,09	0,54	0,29	0,29	0,48
RACHAS	33	34	38	40	30	28	30	32	30	28	28	32

Nº Datos: 62. Nº mínimo de rachas: 23 Nº máximo: 40

Nivel de significación: 5%

Cuadro I

Estos resultados ponen de manifiesto el comportamiento aleatorio de las sequías y de los periodos lluviosos de longitud variable contados a partir de primero de septiembre de cada año hidrometeorológico. En consecuencia, y desde el año hidrológico 1936-1937 a la actualidad, no se puede considerar que exista una variación significativa de la distribución intra-anual de la precipitación en la cuenca del Duero. Únicamente los periodos de septiembre a diciembre, ambos inclusive, son los que presentan una ligera oscilación: el número de rachas obtenido, 40, constituye el valor límite a un nivel de confianza del 95% para los 63 datos de la serie, y supera el valor umbral de 37 para un nivel de confianza, más estricto, del 90%. Esta serie no presenta tendencia significativa a ninguno de los niveles considerados. Este resultado se traduciría en un incremento de la precipitación en este periodo temporal con una cierta periodicidad de alrededor de diez años.

## 6. CONCLUSIONES

1.- El índice SPI calculado con las distribuciones logaritmo-normal ajustadas con las series largas de precipitación media mensual de cada una de las grandes cuencas hidrográficas permite determinar con precisión mensual el comienzo y fin de los periodos anómalos de lluvia, así como efectuar un seguimiento en tiempo reciente del periodo anómalo y evaluar su evolución temporal.

2.- En el caso de la Cuenca del Duero no se observa ni correlación serial ni tendencia del índice SPI a nivel anual en la serie larga con lo que se confirma el carácter aleatorio de la precipitación anual, ya expuesto por diversos autores. En cuanto a la distribución intra anual de la precipitación, tan solo se puede asegurar la ligera tendencia alcista y oscilación de la precipitación acumulada de los cuatro primeros meses del año hidrometeorológico.

Sin embargo, con una muestra de longitud inferior elegida no aleatoriamente podríamos obtener un resultado distinto. Por ejemplo, escogiendo en el periodo 1961-1994, en el que se suceden los máximos pluviométricos de los años sesenta y los mínimos de los noventa, se pondría de manifiesto una tendencia negativa muy significativa, cuando en realidad se trata de una particularidad supuesta a priori.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMARZA, C. (1991): “La sequía en Vizcaya durante los años 1988/1990” . *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. Tomo LXXXV, pp. 515 – 523.
- ALMARZA, C. (1998): “La Variabilidad de un Recurso Natural : El clima” en *Energía y Cambio Climático*, pp. 25 – 38.
- ALMARZA, C. *et al* (1999): “Estimación de la precipitación media mensual en las grandes cuencas hidrográficas” en Instituto Nacional de Meteorología, *Calendario Meteorológico 1999*, pp. 257 – 260.
- GUERRA, J. *et al*(1996): “Análisis del último periodo seco en Madrid por medio de un nuevo índice estadístico” en Marzol y otros (Eds): *Clima y Agua: la Gestión de un Recurso Climático*, pp. 291 – 298.
- MCKEE, T.B., *et al* (1995): “Drought Monitoring with Multiple Timescales”. A 8 th Conference on Applied Climatology, Dallas, Texas. pp. 233 – 236.
- PITA LÓPEZ, M.F. (1995): “Las Sequías: Análisis y Tratamiento” , Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 56.
- SZINELL, C.S. (1998): “Drought Tendencies in Hungary”. *Int. J. Climatol.* **18**, 1479 – 1491.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento, en primer lugar, al profesor Llamas, ya que por su especial indicación se inició este trabajo y por las sugerencias recibidas, y en segundo lugar a la CICYT, al estar esta comunicación en el proyecto CLI97-0341-C03-01.

