

# El seguimiento de la sequía en estaciones y grandes cuencas usando el índice SPI

Antonio Mestre y José Vicente Moreno

Área de Aplicaciones Meteorológicas y Medioambientales de AEMET

## Introducción

La sequía constituye uno de los más complejos y menos comprendidos de entre todos los fenómenos climáticos, de forma que en tanto que se han producido importantes avances para la consolidación de un cuerpo de doctrina para la comprensión de los mecanismos de génesis y desarrollo de otros fenómenos adversos, lo que hace posible el establecimiento por los Servicios Meteorológicos de sistemas de predicción y alerta de los mismos, lo cierto es que la sequía sigue siendo un fenómeno en cierta forma enigmático, pese a que forma parte intrínseca del clima en la práctica totalidad de las regiones geográficas del globo y en particular en las de la cuenca mediterránea.

La complejidad de este fenómeno climático se debe a la convergencia de un conjunto de causas. En primer lugar la sequía es un fenómeno de contornos temporales y espaciales frecuentemente difusos; sus efectos se acumulan, en general, a través de un proceso gradual y dilatado en el tiempo, pudiendo por otro lado no remitir estos efectos hasta mucho tiempo después de la finalización del evento de sequía meteorológica que los originó. En segundo lugar hay que considerar la propia complejidad de cuantificar la intensidad de la sequía, así como la imposibilidad práctica de definirla de un modo universal, preciso y operativo. El nivel de severidad de una sequía, aun analizada desde un punto de vista puramente climático y por ello ya ciertamente restrictivo, viene determinado no sólo por la intensidad del déficit de precipitaciones, sino por su estructura temporal y su extensión espacial. A todo lo expuesto se añade el hecho de que, desde un punto de vista operacional, el concepto de sequía puede enfocarse desde muy variadas perspectivas disciplinares, cada una de las cuales incorpora diferentes factores físicos, biológicos o socioeconómicos, dando lugar a los conceptos de sequía meteorológica, agrícola, hidrológica o estructural.

Por ello no es de extrañar que, aún si nos restringimos a la sequía meteorológica, se hayan desarrollado y utilizado numerosos índices para caracterizar la misma. (R.Heim, 2000). Entre todos ellos, ha adquirido un uso creciente, el índice estandarizado de precipitación -Standardized Precipitation Index- (SPI), ideado por Tom McKee, investigador del Colorado Climate Center (EEUU) en el año 1993 (Mckee et al, 1993; Mckee et al, 1995).

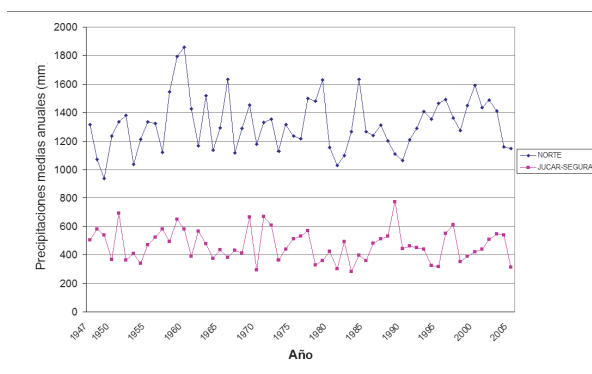
El SPI se ha ido convirtiendo de forma progresiva en una referencia a nivel mundial. Se define como un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar con que un evento (precipitación acumulada sobre el período de referencia) se sitúa por debajo (valor negativo) o por encima (valor positivo) de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal. De este modo se define una escala de valores que se agrupa en tra-



Los campos de Trujillo a mediados de agosto de 2005 aparecen más secos de lo normal. En esa comarca el suelo y los arroyos están secos. Los valores del observatorio de Cáceres son de 313 mm. para la precipitación acumulada desde el 1 de septiembre de 2004, y de -196 para la anomalía de ésta. El valor del SPI acumulado en el año hidrológico es de -1,4 (seco a muy seco) y el valor acumulado de los últimos 8 meses es de -3,7 (extremadamente seco). El ganado es que- rrencioso por las sombras y los altos de las dehesas donde en las horas de calor siempre corre algo de brisa. Foto de Carlos Ruiz López, EUIT Agrícola UPM.

mos relacionados con el carácter de la precipitación, la escala utilizada en este trabajo, abarca desde valores de SPI superiores a +2 que indican un período extremadamente húmedo hasta valores inferiores a -2 que indican sequía extrema, dicha escala en todos sus tramos se refleja en el mapa de la figura 2.

El SPI tiene como principales ventajas: su sencillez operativa, el permitir la cuantificación y comparación de las intensidades de los déficits de precipitaciones entre zonas con climas muy variados y, sobre todo, el hecho de que puede integrarse sobre un amplio rango de escalas temporales, lo que le hace útil como indicador de diferentes tipos de sequía, tanto aquellas que



**Figura 1:** Variabilidad interanual de la precipitación en España; series anuales de precipitaciones medias en cuencas del norte y mediterráneas (período 1947-2005). Fuente de datos: AEMET.

son de corta duración y que producen efectos principalmente sobre los sectores agrícola, forestal y pecuario, como para caracterizar sequías climáticas de larga duración conducentes a sequías hidrológicas. Entre los inconvenientes cabe destacar el que no tenga en cuenta las características del suelo ni incorpore en su definición las variaciones de la evapotranspiración, por lo que puede subestimar la intensidad de las sequías agrícolas e hidrológicas cuando al déficit de precipitaciones se añade una anomalía positiva de temperaturas.

### La sequía en España

Si nos centramos en España, es evidente que nuestro país es particularmente vulnerable, por su situación geográfica, a la ocurrencia de largos ciclos de sequía. Ello es debido a que está ubicado en una región geográfica que constituye un área de transición entre zonas climáticas influidas por la circulación atmosférica polar y subtropical. Esta ubicación fronteriza hace que el régimen de precipitaciones en España, sobre todo al sur de la Cordillera Cantábrica sea muy sensible a pequeños desplazamientos hacia el sur o el norte de las trayectorias de las borrascas atlánticas asociadas al vórtice polar. Cuando estas perturbaciones desplazan su trayectoria hacia latitudes más altas aparecen altas presiones persistentes sobre el suroeste de Europa, en el entorno de la Península Ibérica, produciendo una drástica disminución de las precipitaciones, situación que a veces se prolonga en el tiempo dando lugar a sequías de ciclo largo.

La elevada variabilidad interanual de la precipitación en España queda representada en la figura 1 en la que se incluyen las series históricas de volúmenes anuales de precipitación sobre dos cuencas representativas, respectivamente, de la España húmeda y la seca, las cuencas del norte y noroeste y el conjunto de las del Júcar y del Segura

Como consecuencia de esta elevada variabilidad de la precipitación, como es bien conocido, en España se han datado numerosos episodios de sequía meteorológica severa que, si nos limitamos a los últimos 100 años, han afectado a amplias áreas del territorio español en diversas ocasiones a lo largo del primer tercio del siglo XX, así como en los años 40 y en los 70 y 80, tras el acusado máximo pluviométrico de los primeros años de la década de los 60.

Es precisamente a partir de los años 70 cuando se inicia una disminución gradual de las precipitaciones que culmina en la severa sequía de ciclo largo que marca la primera mitad de la década de los 90, sobre todo en la mitad sur peninsular, con 5 años consecutivos secos a muy secos en amplias áreas del país (1990-95) (C. Peral et al, 2000). A partir del año 1996 se inicia un ciclo húmedo, interrumpido por años secos como los 1998-99, 1999-2000 y 2001-2002, siendo en noviembre de 2004 cuando se inicia un nuevo período de sequía meteorológica que hizo que el año hidrológico 2004-2005 (período: 1 de octubre de 2004 a 30 de septiembre de 2005), el más seco, con notable diferencia, al menos desde 1947, año en que inicia el cálculo sistemático de las precipitaciones medias sobre grandes cuencas hidrográficas.

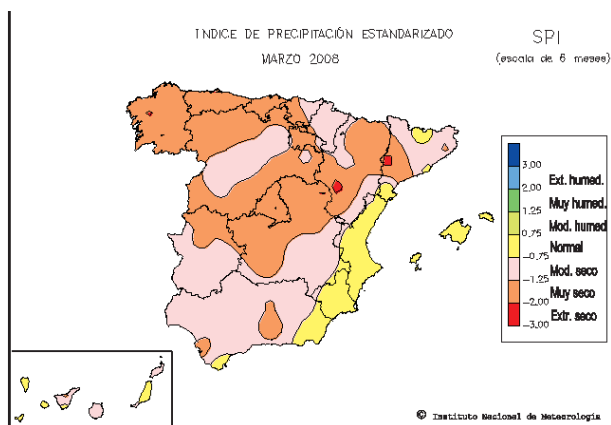
Con posterioridad cabe destacar la más reciente sequía de la primera mitad del año hidrológico 2007-2008, con el primer semestre más seco de toda la serie, si bien el déficit de lluvias de este año fue parcialmente compensado por las abundantes precipitaciones de la primavera de 2008.

### Descripción del módulo de seguimiento de la sequía

Por todo ello y dado el creciente interés que este tema suscita y su indudable importancia estratégica, se ha desarrollado recientemente en el Servicio de Aplicaciones Hidrológicas y Agrícolas de AEMET un sistema que permite llevar a cabo un seguimiento y evaluación continuada de la sequía a nivel nacional, con una información que inicialmente se actualiza de forma mensual, aunque está abierto a un refrescamiento mayor de la información, basada en el uso del S.P.I. ideado por Tom McKee del Colorado Climate Center en el año 1993.

El módulo de sequía se ha desarrollado como un módulo independiente dentro del contexto del balance hídrico nacional, en operación desde 1997 según su esquema actual (Navarro J:A y Picatoste, J.R, 1997; Mestre. A y Moreno.V, 2004), y se nutre tanto de datos climáticos como de los datos pluviométricos diarios que entran en el mismo en tiempo casi-real.

La aplicación desarrollada permite generar y actualizar con periodicidad mensual un variado conjunto de productos gráficos y tabulares referidos al SPI para períodos acumulados desde 1 mes hasta 3 años, que están basados, tanto en datos locales de



**Figura 2:** Ejemplo de mapa de SPI para 6 meses confeccionado con datos locales de 90 estaciones de la red del INM.

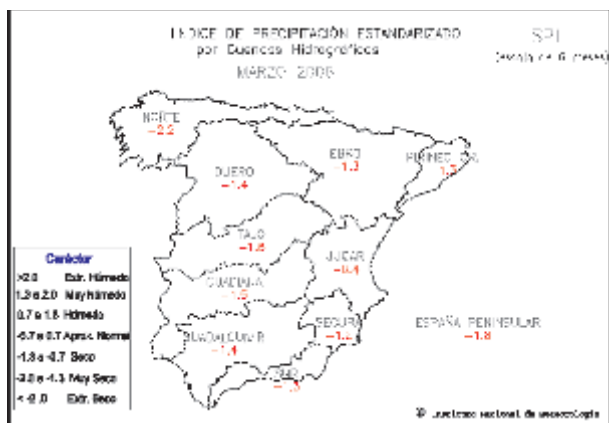


Figura 3: Ejemplo de mapa de SPI a 6 meses por cuencas hidrográficas calculado a partir de los valores estimados de los volúmenes de precipitación

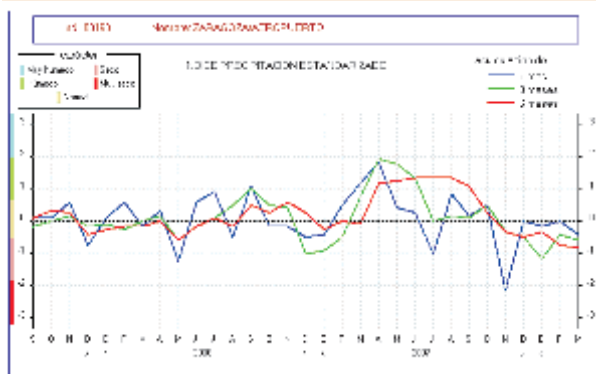


Figura 4: Ejemplo de producto de seguimiento de la evolución reciente del SPI a distintas escalas de tiempo, sobre datos de la estación de Zaragoza (aeropuerto)

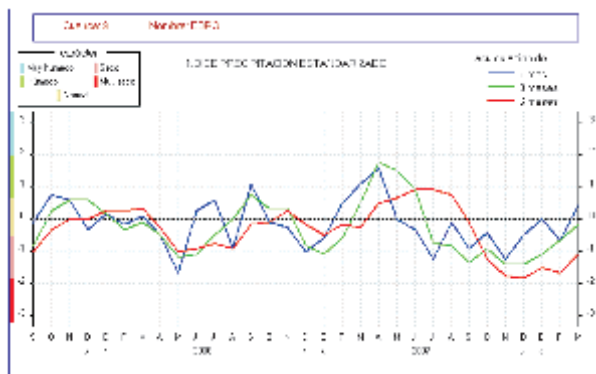


Figura 5: Ejemplo de producto de seguimiento de la evolución reciente del SPI a distintas escalas de tiempo, evaluado sobre el conjunto de la cuenca del Ebro

estaciones sinópticas de AEMET, como en datos estimados de los volúmenes de precipitación sobre las grandes cuencas hidrográficas. Para aplicar la metodología de cálculo del SPI se ha utilizado el método desarrollado por McKee et al (1993), utilizando como información de base el conjunto de las series mensuales de precipitación para un total 90 estaciones sinópticas y para las 12 áreas geográficas correspondientes a las grandes cuencas hidrográficas peninsulares. Para las estaciones los datos proceden de la base climatológica, habiéndose rellenado las lagunas mediante interpolación en la rejilla mensual correspondiente, excepto los datos más recientes que como se ha mencionado se obtienen a partir de los datos pluviométricos de entrada del Balance Hídrico Nacional.

Para las cuencas los datos se extraen de las series de volúmenes de precipitación por grandes cuencas hidrográficas, que se inicia en 1947 excepto para las cuencas del Segura y el Júcar que lo hacen desde el 1992, dado que anteriormente el cálculo se hacía sobre el conjunto de ambas cuencas. Al igual que en el caso de estaciones, los datos más recientes se obtienen a partir del Balance Hídrico Nacional de AEMET, estimándose los volúmenes a partir una integración sobre la rejilla del balance de los datos pluviométricos de entrada en el mismo. Estos volúmenes estimados de este modo, van siendo sustituidos por las estimaciones más precisas de los volúmenes de precipitación por cuencas obtenidos a partir de los datos del conjunto de estaciones de la red pluviométrica de AEMET, a medida que van estando disponibles los datos en la base climatológica de datos.

A partir de estas series mensuales de precipitación se obtienen las series acumuladas; en total se llevan a cabo 72 acumulaciones desde 1 mes hasta 72 meses. Para cada período de acumulación y estación o cuenca se llevan a cabo los ajustes a una distribución Gamma y se obtienen las correspondientes series de valores de los índices SPI.

La presentación de resultados se hace separadamente para estaciones o cuencas, representándose gráficamente sólo algunos períodos de acumulación: 1, 3 y 6 meses, que se consideran como escalas temporales cortas y 1, 2 y 3 años, que son consideradas como escalas temporales largas.

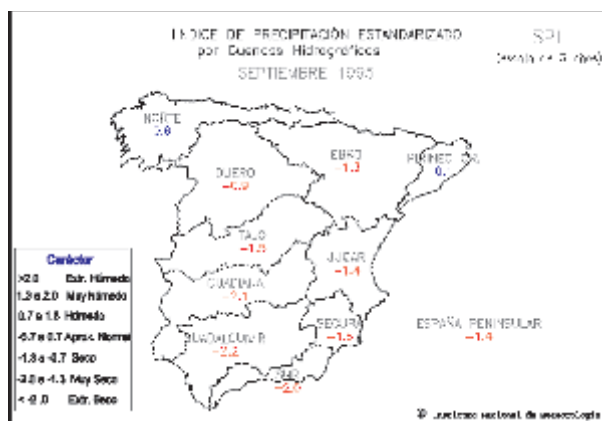


Figura 6: Mapa de SPI a 36 meses por cuencas hidrográficas a fecha 30 de septiembre de 1995

De este modo están disponibles a principios de cada mes en la página de intranet de AEMET un conjunto de productos, que incluyen mapas de SPI para los diversos períodos de acumulación a partir de los valores por estaciones (ver figura 2), y a partir de valores conjuntos por cuencas hidrográficas (figura 3), así como series temporales con los valores recientes de los índices tanto por estaciones como por cuencas, que permiten el seguimiento de los valores recientes del SPI para diversas escalas temporales. (figuras 4 y 5).

### Aplicación del esquema de análisis de sequía a algunos casos de estudio

Se describen a continuación los resultados de la aplicación del esquema de análisis y seguimiento de la sequía a 3 eventos concretos de sequía meteorológica acaecidos en España en los

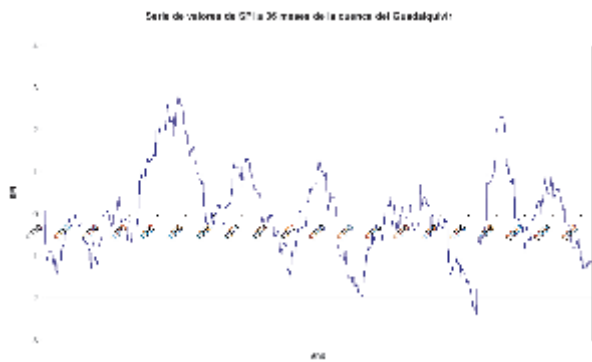
últimos 20 años, y que son de muy variadas características y escalas temporales y espaciales: la sequía del período 1991-95, la sequía del año hidrológico 2004-2005 y la sequía de la primera mitad del año hidrológico 2007-2008.

**La sequía de 1991-95**

Por la larga duración de esta sequía se han utilizado, como referencia para el análisis comparativo, los valores del SPI a 36 meses, dado que es el período más largo de cálculo del sistema de seguimiento. En el mapa de la figura 6 se aprecian los valores de los índices SPI a 3 años para el conjunto de cada una de las grandes cuencas hidrográficas a fecha septiembre de 2005, cuando culmina el largo ciclo de sequía. Se observa que



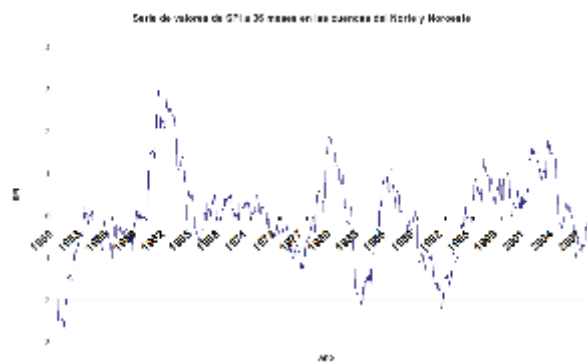
**Figura 7:** Serie histórica de valores de SPI a 36 meses en la cuenca del Guadiana



**Figura 8:** Serie histórica de valores de SPI a 36 meses en la cuenca del Guadalquivir



**Figura 9:** Serie histórica de valores de SPI a 36 meses en la cuenca del Tajo



**Figura 10:** Serie histórica de valores de SPI a 36 meses en las cuencas del Norte y Noroeste



**Figura 11:** Serie histórica de valores de SPI a 36 meses en la España peninsular

los valores de los índices alcanzan valores inferiores a -1,3 en todas las cuencas de la mitad sur y en el Ebro, llegando a valores por debajo de -2 (sequía extrema) en el Guadiana, Guadalquivir y Sur.

La principal característica de esta sequía es pues su larga duración y la extraordinaria intensidad que llega a alcanzar en amplias zonas del centro y sur del país, sobre todo en el cuadrante suroeste (Peral C. et al, 2000). No afecta en cambio ni al norte peninsular, donde el período es más húmedo de lo normal, ni a las cuencas de Cataluña donde las lluvias oscilan en torno a los valores normales. Como se puede comprobar en las figuras 7 a 11, en las que se representan las series de SPI a 36 meses para todo el período 1947-2008, los valores de SPI de larga escala temporal alcanzan en el final del verano del 95 los valores más bajos de todo el período de más de 60 años en las cuencas del Guadiana y Guadalquivir, en tanto que en el Tajo el mínimo absoluto se alcanza también en este evento pero en enero de 1993, otras cuencas como el Duero, Sur, Segura, Ebro y Júcar igualan o quedan muy cerca de los valores mínimos de la serie de SPI a 36 meses en algún momento de este quinquenio. Es llamativo el caso de las cuencas del norte y noroeste (ver fig. 10), en las que el valor mínimo del SPI (-2,2) se alcanza en el verano de 1991, fruto de la gran sequía de finales de los 80 en la zona, recuperándose progresivamente a lo largo de la primera mitad de los 90. No obstante, si se considera la precipitación promediada para toda la España peninsular, se observa que la sequía de los noventa, si bien es la más persistente de la serie, no llega a alcanzar, tomando como base un período de 3 años, el grado de intensidad de la de los años 1981-1983.

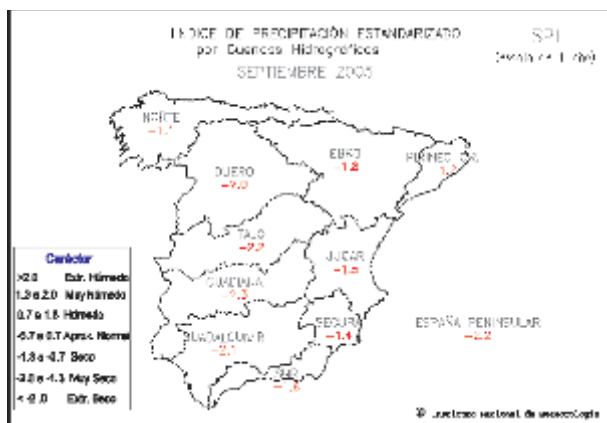


Figura 12: Mapa de SPI a 12 meses por cuencas hidrográficas a fecha 30 de septiembre de 2005

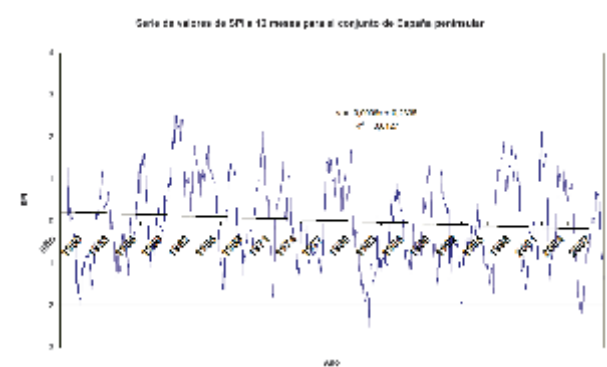


Figura 13: Serie histórica de valores de SPI a 12 meses en la España peninsular

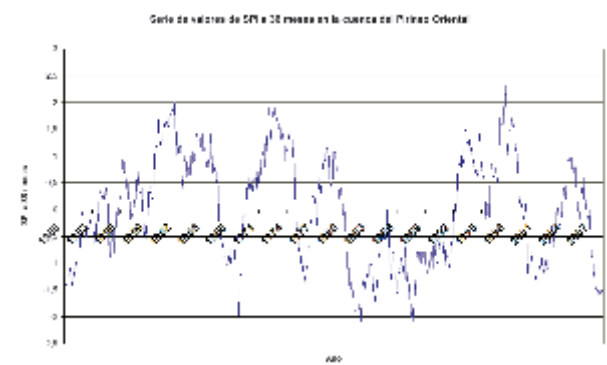


Figura 14: Serie histórica de valores de SPI a 36 meses en las cuencas del Pirineo Oriental (cuencas internas de Cataluña)

### La sequía del año hidrológico 2004-2005

Esta sequía tuvo una extraordinaria intensidad a escala anual, como queda reflejado en el mapa de la figura 12 donde se representan los valores del SPI con escala de 1 año. Destaca el hecho de que todas las cuencas sin excepción quedan por debajo de -1, situándose por debajo de -2 en las de la vertiente atlántica y en el conjunto de España peninsular, lo que hizo que fuese en conjunto el año hidrológico, contabilizado de 1 de octubre a 30 de septiembre, más seco de toda la serie.

Los valores de SPI a 12 meses por cuencas alcanzan en septiembre de 2005 el segundo valor más bajo de su serie histórica en las cuencas del Tago y Guadiana, así como en el conjunto de

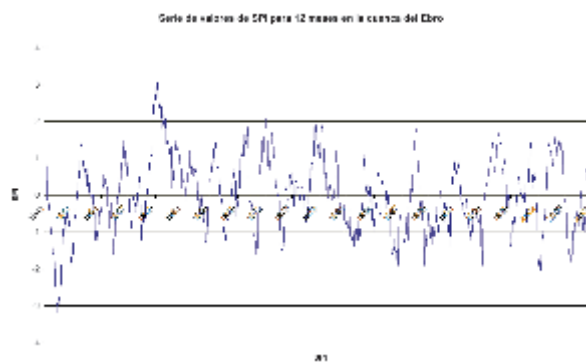


Figura 15: Serie histórica de valores de SPI a 12 meses en la cuenca del Ebro.

la España peninsular (-2,2), sin llegar a alcanzar no obstante el mínimo absoluto registrado en noviembre de 1981 (-2,5) y que fue debido al hecho extraordinario de que en dicho mes, habitualmente húmedo, hubo una ausencia casi total de precipitaciones en toda España.

Como hecho más llamativo de esta sequía se destaca que, a diferencia de las de los años noventa, afectó a todas las regiones, como se ve en la figura 13, lo que hizo que el SPI a 12 meses para el conjunto de España alcanzase valores muy bajos frente a los de las distintas cuencas, debido a la rareza estadística del hecho de que se produzcan simultáneamente déficits pluviométricos en las cuencas de todas las vertientes.

### La sequía del año hidrológico 2007-2008

Se analiza como tercer caso de estudio la sequía del primer semestre del año hidrológico 2007-2008, correspondiente al período 1 de octubre de 2007-31 de marzo de 2008. Como se puede apreciar en el mapa de la figura 3 tiene como característica común con la del año 2004-05 que afecta a todas las cuencas, aunque sobre un intervalo de tiempo más corto; siendo el nivel de rareza de este evento mayor en las cuencas del Norte y noroeste y menor en la del Júcar. Una particularidad de esta situación de déficit de precipitaciones es que se refleja también en los valores del SPI a 36 meses, pues enlaza con la relativamente reciente del año 2004-2005, como se puede apreciar claramente en el gráfico de la figura 11 para el conjunto de España peninsular y, de forma aún más evidente, en los gráficos 14 y 15 para las cuencas del Pirineo oriental (cuencas internas de Cataluña) y en la del Ebro.

### Conclusiones

La sequía es un evento climático recurrente en España, por lo que es necesario reforzar los programas de vigilancia y seguimiento de las sequías y de sus efectos sectoriales. A este respecto, y desde un punto de vista estrictamente climático, el índice SPI es muy útil por su capacidad de establecer objetivamente y de forma simple, desde un punto de vista operativo, el momento de inicio de un período de sequía, su nivel de severidad y su finalización.

Mediante la aplicación del esquema de seguimiento de la sequía meteorológica en España desarrollado en AEMET a un conjunto de eventos recientes de sequía se ha manifestado la capacidad de diagnóstico del sistema y la utilidad de trabajar

conjuntamente sobre datos puntuales de estaciones y sobre valores de precipitación promediadas sobre el conjunto de una cuenca hidrográfica para caracterizar las sequías, es especial las que se desarrollan sobre escalas temporales largas y que conducen a sequías hidrológicas.

De cara al futuro se plantea la necesidad de ampliar el módulo de detección, seguimiento y análisis de sequía, extendiéndolo a otros índices de sequía sectoriales, especialmente los que tomen en consideración explícitamente la humedad del suelo y de trabajar en el desarrollo de productos de tipo predictivo bajo enfoque probabilista que aprovechen los avances de los modelos numéricos de predicción climática de rango mensual/ estacional.

## Referencias

**R.Heim. 2000.** "Drought Indices: a review. In Drought: a global assessment". Ed D. Wilhite. Routledge Hazards and Disasters Series, 2000, pp159-168.

**McKee, T.B.; N. Doesken; and J. Kleist.**1995. "Drought

monitoring with multiple time scales". Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, pp. 233–236. January 15–20, Dallas, Texas.

**McKee, T.B.; N.J. Doesken; and J. Kleist.** 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales". Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–184. January 17–22, Anaheim, California.

**Mestre A. y Moreno V,** 2004. "The operational water balance of the INM: a climate tool for the Spanish agrarian sector". 5th European Conference on Applied Climatology (ECAC) .Nice, 26-30 September 2004 (poster).

**Navarro J.A and Picatoste J.R,** 1998. Desarrollo de una nueva metodología para estimar de forma operativa la humedad del suelo mediante un balance hídrico. Calendario Meteorológico 1998, pags 141-152, Ministerio de Medio Ambiente. INM 1998.

**Peral, C, Mestre. A y Garcia-Merayo J.L,** 2000. The drought of 1991-95 in southern Spain: Analysys, Economic repercussions and response measures. In Drought: a global assessment". Ed D. Wilhite. Routledge Hazards and Disasters Series, 2000, pp.367-381.



## XIII CONGRESO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA (CLIMET XIII)

### X CONGRESO ARGENTINO DE METEOROLOGIA (CONGREGMET X)

Buenos Aires, 5 al 9 de octubre de 2009

#### Circular nº 1

La Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología (**FLISMET**) y el Centro Argentino de Meteorólogos (**CAM**) organizan el XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (**CLIMET XIII**) y el X Congreso Argentino de Meteorología (**CONGREGMET X**), que se desarrollará en Buenos Aires entre el 5 y el 9 de octubre del año 2009, con el lema "Los Desastres Naturales y el Cambio Climático".

El mayor conocimiento de los procesos que derivan en desastres naturales permiten elaborar medidas de mitigación del impacto de los mismos y desarrollar políticas que tiendan a la disminución de la vulnerabilidad de los sistemas socio-económicos. Este es un concepto estratégico que conduce a disminuir la pérdida de vidas y propiedades, así como evitar la interrupción de la vida social y económica resultante de los mismos. Este concepto se encuentra estrechamente ligado a otras estrategias de la comunidad internacional como el desarrollo sostenible, la erradicación de la pobreza, la protección de los recursos naturales, el cambio climático, así como la globalización económica y la intervención del sector privado. Asimismo, en nuestra región, se observa una tendencia creciente de ocurrencia de eventos adversos de origen natural con efectos perjudiciales, los que en gran número pueden encasillarse dentro de las consecuencias del Cambio Climático.

Esta reunión científica convoca a meteorólogos, climatólogos, hidrólogos, oceanógrafos, especialistas en el área del medio ambiente, evaluadores de los impactos sociales y económicos, administradores de política ambiental de nuestro país y de la comunidad latinoamericana e ibérica. En este ámbito se presentarán, discutirán e intercambiarán las experiencias y el conocimiento actualizado en sus respectivas disciplinas. El objetivo de este encuentro es lograr una mayor comprensión de los desastres naturales y efectos del cambio climático, que permita la toma de decisiones adecuadas, para la resolución de los múltiples problemas emergentes que afectan a la sociedad.

El Comité Organizador del CLIMET XIII y CONGREGMET X convoca a todos los científicos, tecnólogos y profesionales de disciplinas relacionadas, a la presentación de trabajos que aporten al avance en el conocimiento de los temas relacionados con el lema del Congreso. El Cronograma para la presentación de trabajos es el siguiente:

- Recepción de Resúmenes: hasta el 31 de marzo de 2009.
- Aceptación de Resúmenes: hasta el 15 de mayo de 2009.
- Recepción de Trabajos: hasta el 15 de agosto de 2009.