

Índice normalizado de precipitación

Guía del usuario



**Organización
Meteorológica
Mundial**

Tiempo · Clima · Agua

OMM-N° 1090



**Organización
Meteorológica
Mundial**

Tiempo · Clima · Agua

OMM-Nº 1090

Índice normalizado de precipitación Guía del usuario

2012

NOTA DE LA EDICIÓN

METEOTERM, base terminológica de la OMM, está disponible en la página web: http://www.wmo.int/pages/prog/lsp/meteoterm_wmo_es.html. La lista de abreviaciones figura también en la siguiente dirección: http://www.wmo.int/pages/themes/acronyms/index_es.html.

OMM-N° 1090

© **Organización Meteorológica Mundial, 2012**

La OMM se reserva el derecho de publicación en forma impresa, electrónica o de otro tipo y en cualquier idioma. Pueden reproducirse pasajes breves de las publicaciones de la OMM sin autorización siempre que se indique claramente la fuente completa. La correspondencia editorial, así como todas las solicitudes para publicar, reproducir o traducir la presente publicación parcial o totalmente deberán dirigirse al:

Presidente de la Junta de publicaciones
Organización Meteorológica Mundial (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
P.O. Box 2300
CH-1211 Ginebra 2, Suiza

Tel.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 80 40
Correo electrónico: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-31090-3

NOTA

Las denominaciones empleadas en las publicaciones de la OMM y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no entrañan, de parte de la Organización, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de determinados productos o sociedades mercantiles no implica que la OMM los favorezca o recomiende con preferencia a otros análogos que no se mencionan ni se anuncian.

Las observaciones, interpretaciones y conclusiones expresadas en las publicaciones de la OMM por autores cuyo nombre se menciona son únicamente las del autor y no reflejan necesariamente las de la Organización ni las de sus Miembros.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Prefacio	1
1. Antecedentes	3
2. Introducción al Índice normalizado de precipitación	3
3. Descripción del Índice normalizado de precipitación	4
4. Ventajas e inconvenientes	6
5. Interpretación: descripción de la flexibilidad espacial y temporal	6
5.1 Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos cortos/ períodos largos	7
5.1.1 SPI de 1 mes	7
5.1.2 SPI de 3 meses	8
5.1.3 SPI de 6 meses	8
5.1.4 SPI de 9 meses	9
5.1.5 SPI de 12 a 24 meses	9
6. Metodología computacional	9
6.1 Método para calcular el SPI	9
6.2 Funcionamiento	10
7. Obtención del programa	10
8. Ejecución del programa en Windows	10
9. Capacidades de elaboración de mapas	13
Referencias	15
Otros recursos en línea	16

ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN

GUÍA DEL USUARIO

PREFACIO

A lo largo de los años se ha debatido mucho sobre qué índices de sequía deberían utilizarse en determinados climas y para cuáles aplicaciones. Se han elaborado muchas definiciones e índices de sequía y se ha tratado de ofrecer orientación sobre este tema.

Teniendo eso presente, la Universidad de Nebraska-Lincoln (Estados Unidos de América) organizó, del 8 al 11 de diciembre de 2009, el Cursillo interregional sobre índices y sistemas de alerta temprana de sequía. El Cursillo fue patrocinado conjuntamente por la Escuela de Recursos Naturales de la Universidad de Nebraska, el Centro Nacional de Mitigación de Sequías de Estados Unidos, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de Estados Unidos, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Al Cursillo asistieron 54 participantes, en representación de 22 países de todo el mundo, que examinaron los índices de sequía actualmente utilizados en diferentes regiones del mundo con objeto de explicar las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas; evaluaron la capacidad para obtener información sobre los efectos de las sequías; analizaron las tecnologías actuales y novedosas para vigilar las sequías; y examinaron la necesidad de disponer de índices normalizados y consensuados para describir diferentes tipos de sequías.

En el Cursillo, los expertos elaboraron y aprobaron la Declaración de Lincoln sobre los índices de sequía, que recomendó que, para describir las características de las sequías meteorológicas, todos los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) utilizaran el Índice normalizado de precipitación (SPI) además de los otros índices de sequías utilizados en esos Servicios. La Declaración de Lincoln también recomendó que se elaborara un exhaustivo manual del usuario del SPI. En junio de 2011 el Decimosexto Congreso Meteorológico Mundial aprobó una resolución en la que se ratificaron ambas recomendaciones. El Congreso solicitó asimismo que el manual del SPI se publicara y distribuyera en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas.

La versión completa de la Declaración de Lincoln sobre los índices de sequía se puede consultar en el sitio web de la OMM, en la dirección http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/wies09/documents/Lincoln_Declaration_Drought_Indices.pdf.

La OMM quisiera dar las gracias a Mark Svoboda, Michael Hayes y Deborah A. Wood del Centro Nacional de Mitigación de Sequías de la Universidad de Nebraska por elaborar la presente Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación¹. Esperamos que la Guía ayude a los países e instituciones a comprender cómo calcular y utilizar el SPI a fin de desarrollar y reforzar sus propias capacidades de vigilancia y alerta temprana de la sequía.

Si desea formular alguna pregunta o comentario sobre el contenido de la presente Guía, o tiene alguna sugerencia para mejorarla, sírvase enviar un mensaje de correo electrónico a la División de meteorología agrícola de la OMM, a la dirección agm@wmo.int.

¹ Esta Guía debe citarse del siguiente modo: Organización Meteorológica Mundial, 2012: *Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación* (OMM-Nº 1090) (M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood), Ginebra.

1. ANTECEDENTES

La sequía es un peligro natural insidioso resultante de unos niveles de precipitaciones por debajo de lo que se considera normal. Cuando este fenómeno se prolonga durante una estación o por un período de tiempo mayor, la precipitación es insuficiente para responder a las demandas de la sociedad y del medio ambiente. La sequía debe considerarse como un estado relativo y no absoluto. Asimismo existen muchos métodos diferentes para vigilar la sequía. Por la extensión a la que afectan, las sequías son regionales, y cada región posee unas características climáticas específicas. Las sequías de las Grandes Llanuras de América del Norte son diferentes de las del nordeste de Brasil, el sur de África, el oeste de Europa, el este de Australia o las planicies del norte de China. La cantidad, la estacionalidad y la forma de precipitación en cada uno de esos lugares varían enormemente.

La temperatura, el viento y la humedad relativa son también factores importantes para la caracterización de las sequías. La vigilancia de las sequías debe ser específica para cada tipo de aplicación, ya que los efectos de las sequías varían según los sectores. La sequía evoca distintos significados para los diferentes usuarios, según sean gestores de recursos hídricos, productores agrícolas, responsables de centrales hidroeléctricas o biólogos naturalistas. Es más, incluso en cada sector la sequía se entiende desde perspectivas diferentes, puesto que sus efectos pueden ser muy distintos. Normalmente las sequías se clasifican, según el tipo, en meteorológica, agrícola e hidrológica y difieren entre sí por su intensidad, duración y extensión espacial.

2. INTRODUCCIÓN AL ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN

Con el curso de los años los meteorólogos y climatólogos de todo el mundo han creado y utilizado muchos índices de sequía, que varían de unos índices sencillos, como el porcentaje de precipitación normal y los percentiles de precipitación, a otros más complicados, como el Índice de severidad de sequía de Palmer. No obstante, los científicos de Estados Unidos comprendieron que los índices debían ser sencillos y fáciles de calcular y tener pertinencia y significado desde el punto de vista estadístico. Además, el entendimiento de que los déficits de precipitación tenían diferentes impactos en las aguas subterráneas, el almacenamiento de agua en reservorios, la humedad del suelo, los bancos de nieve y los caudales fluviales llevó a los científicos estadounidenses McKee, Doesken y Kleist a elaborar en 1993 el Índice normalizado de precipitación (SPI).

El SPI (McKee y otros, 1993, 1995) es un potente y flexible índice sencillo de calcular; de hecho, el único parámetro necesario para su cálculo es la precipitación. Además, es tan efectivo para analizar los períodos y ciclos húmedos como los secos. El programa se puede ejecutar en entornos Windows y UNIX. En la presente Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación se describe la versión de Windows.

Idealmente habría que disponer de un mínimo de entre 20 y 30 años de valores mensuales de precipitación, pero lo óptimo y preferible sería contar con entre 50 y 60 años (o más) (Guttman, 1994). El programa se puede ejecutar sin todos los datos, pero ello afectaría a la fiabilidad de los resultados, en función de la distribución de los datos faltantes en relación con la extensión temporal del registro. En la sección 6, Metodología computacional, figura más información sobre su utilización.

Los climatólogos preferirían analizar conjuntos de datos de series completas, lo que significa que no debería faltar ningún dato. Sin embargo, es más que probable que los conjuntos de datos solo contengan el 90% o incluso el 85% de registros completos. En realidad, eso es un lujo que no pueden permitirse muchos usuarios, quienes tal vez tengan que conformarse con menos (entre el 75% y el 85% de registros completos) salvo que traten de aplicar técnicas de estimación para rellenar los huecos de los registros. Por supuesto, las series de registros de datos largas y prístinas no son prácticas ni habituales en muchos casos, por lo que es preciso que los usuarios sean

conscientes de las limitaciones estadísticas de los fenómenos extremos al trabajar con períodos de registros más cortos para diversas localidades. Al final, los usuarios deben tomar una decisión subjetiva en relación con la tolerancia de datos faltantes que están dispuestos a incorporar en los cálculos y análisis del SPI. Dependiendo del nivel de confianza y el método de cálculo, el uso de datos estimados es aceptable. Evidentemente, cuantos menos datos estimados se empleen, mejor.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE PRECIPITACIÓN

Sinopsis: El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal. Teniendo en cuenta la precipitación observada, la probabilidad de precipitación se transforma en un índice, que actualmente se utiliza en las investigaciones o en modo operativo en más de 70 países.

Usuarios: Muchos planificadores emplean el SPI y aprecian su versatilidad. También lo utilizan diversas instituciones de investigación, universidades y Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales de todo el mundo como parte de las iniciativas de alerta temprana y vigilancia de la sequía.

Ventajas: La precipitación es el único parámetro necesario para el cálculo. El SPI puede calcularse para distintas escalas temporales, ofrecer una alerta temprana de la sequía y ayudar a evaluar su severidad. Es menos complejo que el Índice de severidad de sequía de Palmer y que muchos otros índices.

Inconvenientes: Únicamente puede cuantificar el déficit de precipitación; los valores basados en datos preliminares pueden cambiar, y los valores cambian cuanto más prolongado es el período de registro.

Elaborado por T.B. McKee, N.J. Doesken y J. Kleist, de la Universidad Estatal de Colorado, en 1993.

El SPI se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales, las cuales reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de precipitación en una escala relativamente corta. Las anomalías de precipitación a largo plazo quedan reflejadas en las aguas subterráneas, los caudales fluviales y el almacenamiento en reservorios. Por ese motivo, McKee y otros (1993) calcularon originalmente el SPI para escalas temporales de 3, 6, 12, 24 y 48 meses.

El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997). Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI.

McKee y otros (1993) utilizaron el sistema de clasificación mostrado en el cuadro de valores de SPI que figura a continuación (cuadro 1) para definir las distintas intensidades de la sequía según los distintos valores de SPI. También definieron los criterios para los episodios de sequía en todas las escalas temporales. Los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos. Por consiguiente, todos los episodios de sequía tienen una duración definida por su comienzo y su final, y una intensidad para cada mes en el que continúa el episodio. La suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se puede denominar la "magnitud" de la sequía.

Cuadro 1. Valores del Índice normalizado de precipitación

2,0 y más	extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	muy húmedo
1,0 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	moderadamente seco
-1,5 a -1,99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

Basándose en el análisis de las estaciones de Colorado (Estados Unidos), McKee determinó que el SPI indica una sequía leve el 24% del tiempo, una sequía moderada el 9,2% del tiempo, una sequía severa el 4,4% del tiempo y una sequía extrema el 2,3% del tiempo (McKee y otros, 1993). Teniendo en cuenta que el SPI está normalizado, esos porcentajes son los esperados de una distribución normal del SPI. El 2,3% de los valores del SPI dentro de la categoría “sequía extrema” es un porcentaje típico que cabe esperar para un episodio “extremo”. En cambio, el Índice de severidad de sequía de Palmer alcanza su categoría “extrema” más del 10% del tiempo en distintas zonas de las Grandes Llanuras centrales de Estados Unidos. Esa normalización permite que el SPI determine la rareza de una sequía actual (cuadro 2) y la probabilidad de la precipitación necesaria para que finalice la sequía (McKee y otros, 1993). También permite que los usuarios comparen con confianza en los resultados sequías históricas y actuales entre distintas localidades climáticas y geográficas cuando evalúan la rareza o frecuencia de una determinada sequía.

Cuadro 2. Probabilidad de recurrencia

SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0,99	Sequía leve	33	1 en 3 años
-1,00 a -1,49	Sequía moderada	10	1 en 10 años
-1,5 a -1,99	Sequía severa	5	1 en 20 años
< -2,0	Sequía extrema	2,5	1 en 50 años

Algunos aspectos fundamentales:

- En razón de que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo; por consiguiente, también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI. No obstante, hay que subrayar que el SPI no es adecuado para los análisis del cambio climático ya que la temperatura no es un parámetro de cálculo.
- El SPI se ha concebido para calcular el déficit de precipitación en diversas escalas temporales.

- Las escalas temporales reflejan el efecto de la sequía en la disponibilidad de los distintos recursos hídricos y ese era el resultado perseguido inicialmente por los creadores del SPI.
- Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de precipitación en una escala temporal relativamente corta. Las aguas subterráneas, los caudales fluviales y el almacenamiento en reservorios reflejan las anomalías de precipitación a largo plazo. Así, por ejemplo, habría que estudiar el SPI de 1 ó 2 meses para la sequía meteorológica, de entre 1 y 6 meses para la sequía agrícola, y de entre unos 6 y 24 meses o más para los análisis y aplicaciones de la sequía hidrológica.

4. **VENTAJAS E INCONVENIENTES**

Las ventajas e inconvenientes del SPI se pueden resumir del siguiente modo:

Ventajas

- Es flexible: se puede calcular para diversas escalas temporales.
- Mediante los SPI de escalas temporales cortas, por ejemplo, de 1, 2 ó 3 meses, se pueden ofrecer avisos tempranos de sequía y se puede ayudar a evaluar la severidad de la sequía.
- Tiene coherencia espacial: permite realizar comparaciones entre distintas localidades con climas distintos.
- Su carácter probabilístico le otorga un contexto histórico, muy adecuado para la adopción de decisiones.

Inconvenientes

- Se basa únicamente en la precipitación.
- No contiene ningún componente de equilibrio entre el suelo y el agua, por lo que no se puede calcular ninguna relación de evapotranspiración/evapotranspiración potencial (ET/PET).
- Una nueva variación del índice elaborada por Vicente-Serrano y otros (2010) trata de abordar la cuestión de la evapotranspiración potencial mediante la incorporación de un componente de temperatura en el cálculo de su nuevo índice denominado Índice estandarizado de precipitación-evapotranspiración (SPEI). Los parámetros necesarios para ejecutar el programa son la precipitación, la temperatura media y la latitud del sitio o los sitios. Se puede consultar más información sobre el SPEI en <http://sac.csic.es/spei/index.html>.

5. **INTERPRETACIÓN: DESCRIPCIÓN DE LA FLEXIBILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL**

No existe una única definición de sequía (Wilhite y Glantz, 1985). Generalmente, las sequías se agrupan en meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas. La sequía es un peligro cuya definición y detección es muy compleja. Tiene efectos en múltiples sectores y a varias escalas temporales. Al igual que no existe una única definición de sequía, tampoco existe un único índice que satisfaga todos los requisitos de todas las aplicaciones.

Dicho esto, una ventaja real del SPI es que puede calcularse para muchas escalas temporales, lo que posibilita abordar muchos de los tipos de sequía ya descritos. La posibilidad de calcular el SPI en diversas escalas temporales permite tener flexibilidad temporal en la evaluación de las condiciones de precipitación en relación con el abastecimiento de agua.

Tal y como ya se ha mencionado, el SPI se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para múltiples escalas temporales o “ventanas de promedios móviles”. Esas escalas temporales reflejan los efectos de la sequía en distintos recursos hídricos que necesitan conocer las diversas instancias decisorias. Las condiciones meteorológicas y de humedad del suelo (agricultura) responden a anomalías de precipitación en escalas temporales relativamente cortas, por ejemplo de entre 1 y 6 meses, mientras que los caudales fluviales, el almacenamiento en reservorios y las aguas subterráneas responden a anomalías de precipitación a más largo plazo, del orden de 6 meses y hasta 24 meses o más. Así, por ejemplo, habría que estudiar el SPI de 1 ó 2 meses para la sequía meteorológica, de entre 1 y 6 meses para la sequía agrícola, y de entre unos 6 y 24 meses o más para los análisis y aplicaciones de sequía hidrológica.

Se puede calcular desde el SPI de 1 mes hasta el de 72 meses. Estadísticamente, la franja de aplicación más práctica es de entre 1 y 24 meses (Guttman, 1994, 1999). Ese corte de 24 meses se basa en la recomendación de Guttman de disponer de entre 50 y 60 años de datos. A menos que se disponga de entre 80 y 100 años de datos, el tamaño de la muestra es demasiado pequeño y, por encima de los 24 meses, la confianza estadística en las estimaciones de probabilidad se debilita en los extremos (tanto el húmedo como el seco). Además, el hecho de disponer únicamente del mínimo de 30 años de datos (o menos) reduce el tamaño de la muestra y debilita la confianza. Técnicamente, se podría ejecutar el SPI con menos de 30 años de datos siempre que, no obstante, se tengan en cuenta las limitaciones estadísticas y el debilitamiento de la confianza señalado.

5.1 **Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos cortos/ períodos largos**

5.1.1 ***SPI de 1 mes***

El mapa para el SPI de 1 mes es muy parecido a un mapa que muestre el porcentaje de precipitación normal para un período de 30 días. De hecho, el SPI derivado es una representación más exacta de una precipitación mensual puesto que la distribución se ha normalizado. Por ejemplo, el SPI de 1 mes al final de noviembre compara el total de precipitación de 1 mes para noviembre de ese año particular con los totales de la precipitación para noviembre de todos los años del registro. Habida cuenta de que el SPI de 1 mes refleja las condiciones a corto plazo, su aplicación puede relacionarse estrechamente con tipos meteorológicos de sequía junto con la humedad del suelo y el estrés de los cultivos a corto plazo, especialmente durante la estación de crecimiento. El SPI de 1 mes puede aproximarse a las condiciones representadas por el Índice de humedad de los cultivos, que forma parte del conjunto de índices del Índice de severidad de sequía de Palmer.

La interpretación del SPI de 1 mes puede ser errónea a menos que se entienda la climatología. En las regiones donde la precipitación es normalmente baja durante un mes, pueden darse grandes valores negativos o positivos de SPI, incluso cuando la desviación de la media sea relativamente pequeña. El SPI de 1 mes también puede malinterpretarse con valores de precipitación menores de lo normal en las regiones con un total de precipitación normal pequeño para un mes. En relación con el mapa de porcentaje de precipitación normal, los mapas de SPI de 1 mes contienen valiosa información, pero conviene analizarlos con prudencia.

NOTA: En teoría, el SPI se puede calcular para períodos inferiores a 1 mes, pero no se recomienda en la práctica. Es muy recomendable que los usuarios estudien una ventana con un promedio mínimo de 4 semanas. Se podría calcular un SPI de 1 semana, pero la realidad es que probablemente habrá muchos episodios de días secos (precipitación de 0,00 incluso en climas no áridos), lo que hace que el SPI se comporte de forma errática (Wu y otros, 2006), por lo que no se recomienda este planteamiento. No obstante, sí que es aceptable actualizar el SPI todos los días o todas las semanas, para un plazo de 1 mes a 24 meses. Este enfoque de “ventana móvil” no causa ningún problema al programa puesto que sigue estudiando un mínimo de 4 semanas de datos cada día transcurrido.

5.1.2 ***SPI de 3 meses***

El SPI de 3 meses ofrece una comparación de la precipitación a lo largo de un período específico de 3 meses con los totales de precipitación del mismo período de 3 meses de todos los años incluidos en el registro histórico. En otras palabras, un SPI de 3 meses al final de febrero compara el total de la precipitación de los meses de diciembre, enero y febrero de ese año concreto con los totales de precipitación entre diciembre y febrero de todos los años contemplados en el registro para esa localidad. Por los datos de cada año añadidos, se añade otro año al período de registro, con lo que los valores de todos los años se utilizan de nuevo. Los valores no solo puede que cambien, sino que cambiarán, al comparar el año en curso de forma histórica y estadística con todos los años precedentes del registro de observación.

El SPI de 3 meses refleja las condiciones de humedad a corto y medio plazo, y proporciona una estimación estacional de la precipitación. En las principales regiones agrícolas, un SPI de 3 meses podría ser más eficaz para poner de relieve la existencia de condiciones de humedad que el índice de Palmer, de respuesta más lenta, u otros índices hidrológicos actuales. Un SPI de 3 meses al final de agosto en Corn Belt (Estados Unidos) reflejaría tendencias de precipitación durante las importantes etapas de reproducción y llenado del grano para el maíz y la soja. Al mismo tiempo, el SPI de 3 meses a final de mayo da un indicio de las condiciones de humedad del suelo al comienzo de la estación de crecimiento.

Es importante comparar el SPI de 3 meses con escalas temporales más largas. Un período relativamente normal, o incluso uno de 3 meses húmedo, podría ocurrir en medio de una sequía de larga duración que únicamente sería observable en un período largo. Observando escalas temporales largas se pueden evitar interpretaciones erróneas que lleven a pensar que una sequía podría haber finalizado cuando en realidad se trata tan solo de un período húmedo temporal. Es fundamental hacer un seguimiento continuo y persistente de la sequía para determinar cuándo comienza y termina. De esta forma se evitan las “falsas alarmas” al comenzar o terminar las sequías. Para ello, puede ayudar disponer de un conjunto de “accionadores” *in situ*, que estén asociados a medidas que se deben adoptar en el marco de un plan de sequía.

Al igual que con el SPI de 1 mes, el SPI de 3 meses puede malinterpretarse en regiones donde normalmente se dan condiciones secas durante algún período concreto de 3 meses. Los SPI negativos o positivos durante mucho tiempo pueden asociarse a totales de precipitación no muy diferentes de la media. Esta precaución puede explicarse con el clima Mediterráneo de California y en derredor del norte de África y el sur de Europa, donde llueve, o está previsto que llueva, muy poco durante distintos períodos del año. Dado que esos períodos se caracterizan por poca lluvia, los correspondientes totales históricos serán reducidos, y unas desviaciones a ambos lados de la media relativamente pequeñas podrían dar lugar a grandes valores negativos o positivos de SPI. En cambio, este período de tiempo puede ser un buen indicador para algunas regiones monzónicas de todo el mundo.

5.1.3 ***SPI de 6 meses***

El SPI de 6 meses compara la precipitación de ese período con el mismo período de 6 meses del registro histórico. Por ejemplo, un SPI de 6 meses al final de septiembre compara el total de precipitación para el período de abril a septiembre con todos los totales precedentes para el mismo período.

El SPI de 6 meses indica tendencias de precipitación entre estacionales y el medio plazo y se considera más sensible a las condiciones en esta escala que el Índice de Palmer. Un SPI de 6 meses puede ser muy eficaz para mostrar la precipitación en distintas estaciones. Por ejemplo, un SPI de 6 meses al final de marzo indicaría muy bien la cantidad de precipitación caída durante el período de estación húmeda tan importante que va de octubre a marzo en determinadas localidades mediterráneas. La información derivada de un SPI de 6 meses también podría reflejar caudales fluviales y niveles de almacenamiento anómalos, en función de la región y la época del año.

5.1.4 **SPI de 9 meses**

El SPI de 9 meses da una indicación de pautas de precipitación interestacionales en escalas temporales medias. Las sequías normalmente tardan una estación o más en desarrollarse. Los valores de SPI por debajo de -1,5 para estas escalas temporales generalmente se consideran un buen indicativo de que la sequedad está teniendo un impacto significativo en la agricultura y puede que también esté afectando a otros sectores. En algunas regiones se puede observar que la pauta seguida en el mapa por el Índice de Palmer se vincula estrechamente con los mapas de SPI de 9 meses. Para otras zonas, el Índice de Palmer se vincula más estrechamente con el SPI de 12 meses. Este período de tiempo se introduce para pasar de la sequía estacional a corto plazo a las sequías a más largo plazo que pueden por su carácter ser hidrológicas o plurianuales.

5.1.5 **SPI de 12 a 24 meses**

El SPI en estas escalas temporales refleja patrones de precipitación a largo plazo. Un SPI de 12 meses es una comparación de la precipitación de 12 meses consecutivos con la registrada en los mismos 12 meses consecutivos de todos los años precedentes para los que se dispone de datos. Dado que estas escalas temporales son el resultado acumulado de períodos más cortos que pueden estar por encima o por debajo de lo normal, el SPI a más largo plazo tiende a situarse en torno a cero, a menos que se esté produciendo una tendencia húmeda o seca característica. Los SPI de estas escalas temporales generalmente se vinculan con cauces fluviales, niveles de los reservorios e incluso niveles de las aguas subterráneas a escalas temporales más largas. En algunas localidades, el SPI de 12 meses es el que más se relaciona con el Índice de Palmer, y ambos índices pueden reflejar condiciones parecidas.

6. **METODOLOGÍA COMPUTACIONAL**

El SPI se determina normalizando la precipitación para una estación determinada después de que se haya fijado para una función de densidad de probabilidad, según describen McKee y otros (1993, 1995), Edwards y McKee (1997) y Guttman (1998). Se puede consultar una descripción del procedimiento computacional del SPI en McKee y otros (1993, 1995) y Edwards y McKee (1997). A continuación se describen los fundamentos básicos, tomados de Edwards (1997).

6.1 **Método para calcular el SPI**

- El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitación a largo plazo para el período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades, y a continuación esta se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997).
- Los valores positivos de SPI indican precipitaciones superiores al valor de la mediana, y los valores negativos indican precipitaciones inferiores al valor de la mediana.
- La sequía, según el SPI, empieza cuando el valor del SPI es igual o inferior a -1,0 y concluye cuando el valor se convierte en positivo.

6.2 Funcionamiento

- La precipitación se normaliza utilizando una función de distribución de probabilidad de modo que los valores de SPI se consideran en realidad como desviaciones estándar de la mediana.
- Una distribución normalizada permite realizar una estimación de los períodos secos y los períodos húmedos.
- Los valores acumulados se pueden utilizar para analizar la severidad de la sequía (magnitud).
- Se necesitan al menos 30 años de datos continuos de precipitación mensual, si bien sería preferible contar con registros más prolongados.
- Los intervalos de escala de tiempo para el SPI inferiores a 1 mes o superiores a 24 meses pueden no ser fiables.
- La dimensión espacial no influye en la interpretación del SPI.
- Dado su carácter probabilístico (la probabilidad de las precipitaciones observadas se transforma en un índice), el SPI se adapta bien a la gestión del riesgo y a los accionadores para la adopción de decisiones.

7. OBTENCIÓN DEL PROGRAMA

El programa se puede obtener en versión Windows/PC y se puede descargar de forma gratuita.

La última versión del programa SPI (SPI_SL_6.exe), ejemplos de archivos como los que se describen más adelante y las instrucciones para Windows/PC están disponibles en <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

El programa puede calcular hasta seis ventanas temporales de SPI a la vez para una localidad determinada. Está compilado en C++ para PC y contiene todas las bibliotecas (Libraries).

8. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA EN WINDOWS

Para ejecutar el programa en Windows, basta con seguir los pasos que se indican a continuación:

1. Establecer un fichero de entrada como el del ejemplo siguiente con datos de precipitaciones de Falls City, Nebraska:

Year	Month	Precipitation
1949	1	478
1949	2	308
1949	3	250
1949	4	245
1949	5	450
1949	6	3538
1949	7	379
1949	8	570
1949	9	270
1949	10	650
1949	11	37
1949	12	313
1950	1	360
1950	2	311
1950	3	380
1950	4	326
1950	5	649
1950	6	275
1950	7	665
1950	8	370
1950	9	345
1950	10	79
1950	11	35
1951	1	399
1951	2	271
1951	3	388
1951	4	327
1951	5	682
1951	6	940
1951	7	648
1951	8	3028

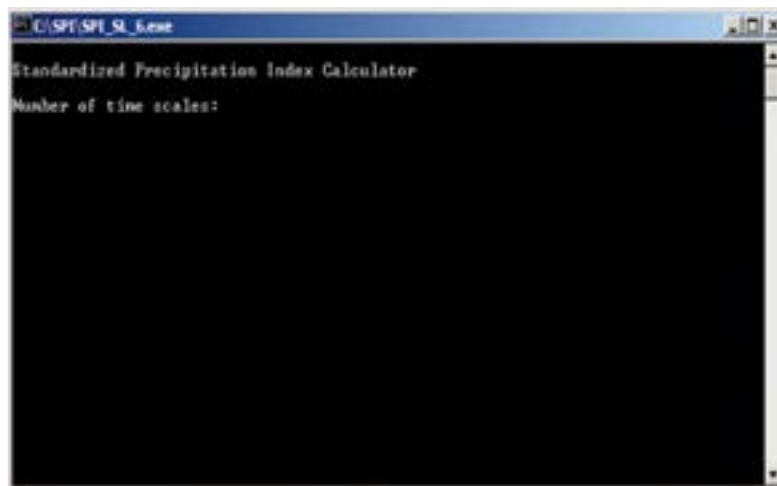
Todos los ficheros de entrada deben tener el formato mostrado, con tres columnas que indiquen, respectivamente, el año, el mes y el valor de la precipitación del mes. El encabezado, generalmente el nombre de la estación, debe incluirse en la cabecera del fichero o de lo contrario el programa produce un fichero de salida vacío. El total de precipitaciones NO debe contener decimales y puede estar indicado en pulgadas o milímetros.

NOTA: Tenga cuidado con el espaciado de la columna y de que no falten datos en el fichero de entrada. Si falta el valor de precipitación de uno o varios meses, debe poner -99 para el valor del dato faltante. No deje ningún espacio en blanco en la columna de precipitación. Cero es un valor válido, típico de meses secos en regiones áridas o de localidades con estaciones húmedas y secas diferenciadas. Lo ideal sería disponer de al menos 30 años de datos mensuales/semanales para obtener estadísticas fiables, pero ese normalmente es el caso con la mayoría de los índices utilizados para evaluar cualquier climatología de sequía para una localidad o región determinada.

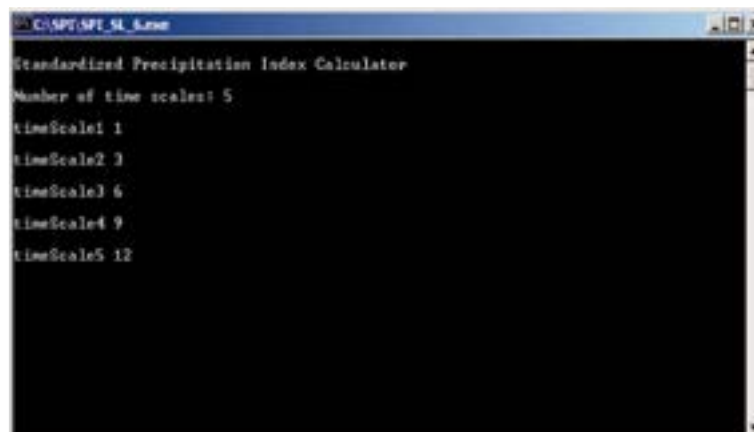
Los ficheros de entrada se pueden generar con Excel o con cualquier editor de textos, pero se deben renombrar con la extensión ".cor" antes de ejecutar el programa.

2. Haga clic con el botón derecho del ratón sobre el fichero SPI_SL_6.exe y guárdelo (Save). A continuación ejecute el programa (doble clic con el botón izquierdo) y siga las instrucciones de la ventana que aparezca.

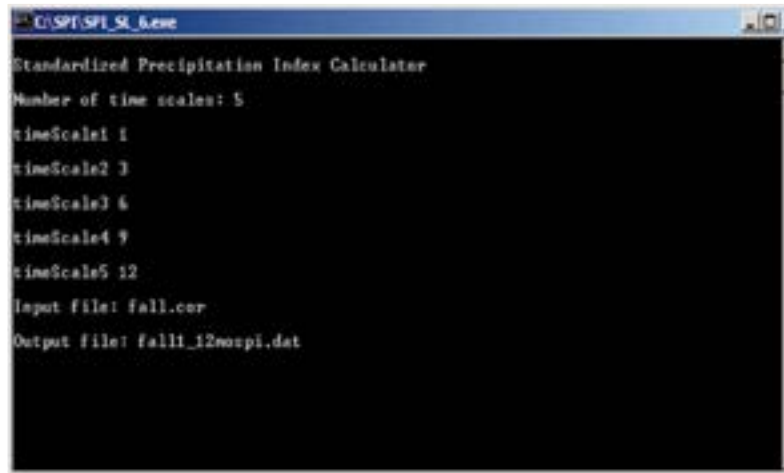
3. Elija el número de escalas temporales del SPI que desea considerar para los cálculos.



4. Especifique las escalas temporales del SPI que se van a considerar para los cálculos. En el ejemplo que sigue, el usuario genera cinco escalas temporales o ventanas del SPI: intervalos de 1 mes, 3 meses, 6 meses, 9 meses y 12 meses.



5. Introduzca el nombre de un fichero de entrada (en el ejemplo "fall.cor") y de un fichero de salida (en el ejemplo "fall1_12mospi.dat"). Se recomienda adoptar un sistema de nombres que refleje los análisis del SPI que se realizarán a fin de conservar los resultados de cada análisis por separado.



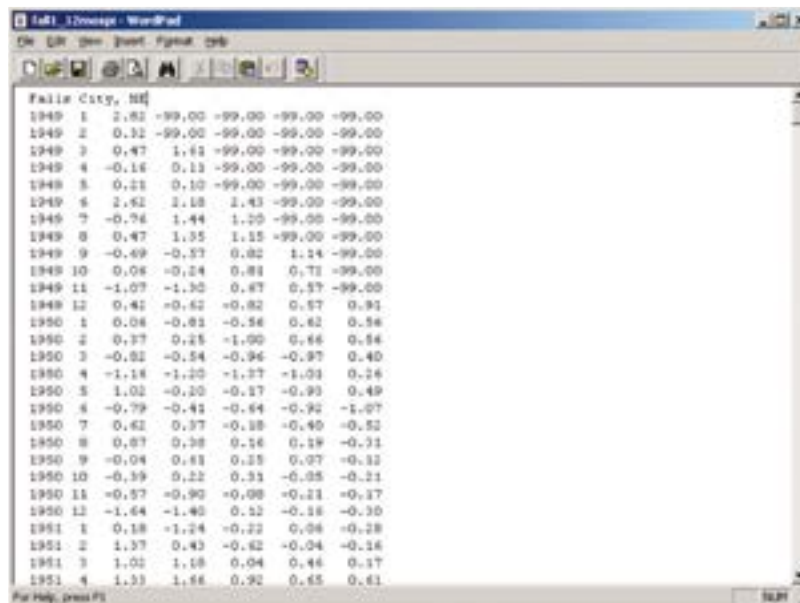
```

C:\SPI\SPI_Sk.exe
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 5
timeScale1 1
timeScale2 3
timeScale3 6
timeScale4 9
timeScale5 12
Input file: fall.cor
Output file: fall1_12mospi.dat
  
```

Se puede dar cualquier nombre al fichero de salida pero debe tener la extensión ".dat". Este fichero se pondrá en el mismo directorio donde esté ubicado el fichero ejecutable.

Los resultados se pueden procesar con Notepad de Microsoft o con cualquier otro programa de procesamiento de textos. Estos ficheros se guardan como ficheros de texto ASCII en MS_DOS. A partir de ese momento, los datos de salida ya se pueden representar en forma de trazado, gráfico o mapa por cualquier medio.

A continuación se muestra y se describe un ejemplo de fichero de salida para Falls City, Nebraska. El fichero de entrada se creó para analizar el SPI de 1, 3, 6, 9 y 12 meses. Los valores correspondientes se muestran en las columnas tercera, cuarta, quinta, sexta y séptima.



Year	SPI 1	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	SPI 12 (Next Year)
1949 1	2.82	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	
1949 2	0.32	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	
1949 3	0.47	1.63	-99.00	-99.00	-99.00	
1949 4	-0.16	0.13	-99.00	-99.00	-99.00	
1949 5	0.23	0.10	-99.00	-99.00	-99.00	
1949 6	2.62	2.18	2.43	-99.00	-99.00	
1949 7	-0.76	1.44	1.20	-99.00	-99.00	
1949 8	0.47	1.35	1.15	-99.00	-99.00	
1949 9	-0.69	-0.37	0.02	1.14	-99.00	
1949 10	0.06	-0.24	0.01	0.71	-99.00	
1949 11	-1.07	-1.30	0.47	0.37	-99.00	
1949 12	0.40	-0.62	-0.82	0.37	0.91	
1950 1	0.06	-0.02	-0.36	0.62	0.36	
1950 2	0.37	0.25	-1.00	0.66	0.34	
1950 3	-0.02	-0.34	-0.36	-0.37	0.40	
1950 4	-1.18	-1.20	-1.37	-1.03	0.24	
1950 5	1.02	-0.20	-0.37	-0.33	0.49	
1950 6	-0.79	-0.41	-0.64	-0.30	-1.07	
1950 7	0.62	0.37	-0.38	-0.40	-0.32	
1950 8	0.07	0.38	0.16	0.19	-0.31	
1950 9	-0.04	0.61	0.25	0.07	-0.32	
1950 10	-0.39	0.22	0.31	-0.05	-0.21	
1950 11	-0.37	-0.30	-0.00	-0.21	-0.17	
1950 12	-1.64	-1.40	0.32	-0.18	-0.30	
1951 1	0.18	-1.24	-0.22	0.06	-0.28	
1951 2	1.37	0.43	-0.62	-0.04	-0.16	
1951 3	1.00	1.10	0.04	0.46	0.17	
1951 4	1.33	1.66	0.30	0.65	0.61	

NOTA: El valor -99,00 no indica un dato faltante en este caso. Simplemente refleja que, por ejemplo, en la cuarta columna, no se puede obtener el valor de SPI de 3 meses hasta que no hayan transcurrido los tres primeros meses del período de registro. Lo mismo ocurre en el resto de las columnas hasta la última, donde no aparece ningún valor de SPI de 12 meses hasta diciembre de 1949, es decir, hasta el duodécimo mes disponible para el cálculo, con lo que ese mes se convierte en el primero con un SPI generado para 12 meses.

9. CAPACIDADES DE ELABORACIÓN DE MAPAS

Muchos países calculan con regularidad el SPI y otros índices de sequía o parámetros meteorológicos y elaboran mapas sobre ellos. A continuación figura una sinopsis de los métodos generalmente empleados en la elaboración de mapas sobre indicadores de sequía.

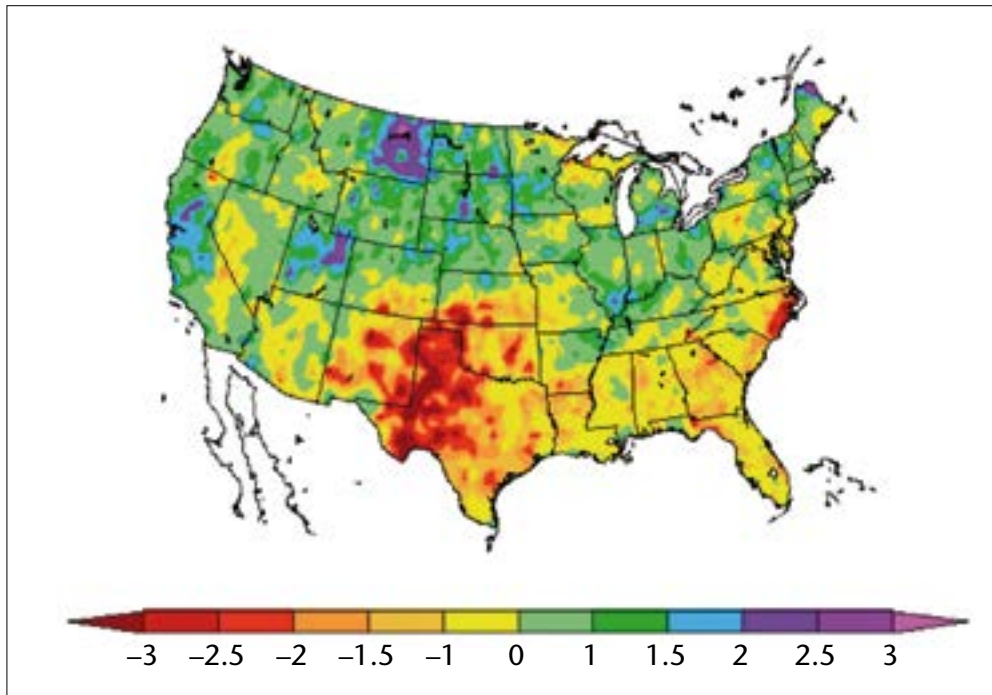
Existen varias maneras de elaborar mapas de variables meteorológicas, como los indicadores e índices normalizados de sequías. La mayoría de los datos sobre sequías se derivan de datos puntuales (de una estación o de un sitio específico). Si bien estos datos responden a la finalidad deseada, es con frecuencia su representación en un mapa lo que permite comunicar del mejor modo posible un mensaje basado en un contexto geográfico a las instancias decisorias que procuran conocer la severidad de la sequía y su extensión espacial. Los datos puntuales se pueden representar en un mapa, y se pueden ofrecer productos o características derivados en calidad de información adicional. Ello podría comprender, por ejemplo, el trazado de series temporales del indicador o índice. La limitación de este nivel de detalle espacial es que no se dispone de información sobre lo ocurrido entre los puntos.

Se pueden utilizar diversas técnicas para generar un mapa continuo de sequía meteorológica. Una de esas técnicas consiste en generar una superficie interpolada de valores estimados en ubicaciones entre sitios basándose en relaciones matemáticas del indicador o índice entre los datos puntuales originales. Generalmente esto produce un mapa que parece “natural”, pero sigue basándose en los datos de puntos específicos, y tan solo es exacto en la medida en que lo son los datos y la técnica de interpolación. No es posible aplicar un único método de interpolación para todas las situaciones; entre las técnicas de interpolación utilizadas más habitualmente cabe destacar las de Kriging, Spline y la ponderación de la distancia inversa.

Cada técnica de interpolación tiene sus ventajas e inconvenientes. Algunas técnicas son más exactas que otras, pero consumen más tiempo para producir el resultado deseado. El método de Kriging, que tiene su origen en aplicaciones geológicas y la industria minera, supone que existe una relación entre los puntos que no es aleatoria y que cambia de forma espacial. El método de Spline se utiliza cuando es importante minimizar la curvatura espacial global. La ponderación de la distancia inversa se utiliza cuando los puntos de datos están dispersos, pero con suficiente densidad para representar variaciones locales. Los datos, tal como indica el propio nombre del método, se ponderan de modo que se favorezcan los datos más próximos al punto que se procesa.

Otra técnica que se ha utilizado para la vigilancia y la elaboración de mapas de sequías meteorológicas es situar en el mapa los datos puntuales vinculados a cuadrículas. Esos datos también se pueden obtener de fuentes de observación aérea, por ejemplo radares o satélites. Esos productos de datos reticulares parecen menos “naturales” que los productos interpolados, pero son más fáciles de utilizar con fines comparativos gracias a los tamaños comunes de las cuadrículas, que pueden variar en tamaño decreciente desde grados hasta metros en función de la fuente y de la aplicación que se necesite. También son variables en cuanto a frecuencia temporal, con períodos de retorno que varían de diarios (o varias veces al día) a semanales o más largos. En Estados Unidos, los productos reticulares para la vigilancia de sequías meteorológicas cada vez son más habituales, mientras que en otras regiones, sobre todo en África, ya hace mucho tiempo que se utiliza información reticular para determinar condiciones de sequía. El Sistema de alerta temprana para casos de hambruna y otras redes parecidas han utilizado datos reticulares en sus análisis. Existen varios ejemplos de productos reticulares para sequías meteorológicas en Australia, China, Estados Unidos y Reino Unido.

Para elaborar un producto de mapa reticulado, los datos puntuales se agregan con una resolución de cuadrícula seleccionada para ese producto utilizando una relación matemática. A continuación, se crea una superficie interpolada entre las cuadrículas (no los datos puntuales). Por ejemplo, en Estados Unidos el Centro Regional sobre el Clima de las Llanuras Altas, en colaboración con el Centro Nacional de Mitigación de Sequías, elabora diariamente un mapa del Índice normalizado de precipitación a escalas estatal, regional y nacional para todo el país.



Fuente: Centro Regional sobre el Clima de las Llanuras Altas de Estados Unidos

Ejemplo de SPI de 3 meses (1 de mayo de 2011 a 31 de julio de 2011)

Los mapas de SPI se generan utilizando el Sistema de análisis y visualización reticular (GrADS). Los datos de SPI de estaciones discretas se interpolan utilizando un análisis objetivo de Cressman con radios de influencia de 10,7,4,2,1. La resolución de las cuadrículas es de 0,4 grados. Los mapas de contorno reticulares se generan a escalas nacional, regional y estatal para la región de las Llanuras Altas. En los mapas nacionales se aplica una proyección estereográfica polar. Los mapas regionales y estatales emplean una proyección latitudinal/longitudinal conservando la relación de aspecto. Esta interfaz y los productos resultantes se pueden consultar en: <http://www.hprcc.unl.edu/maps/current/>.

Para que los mapas de sequías meteorológicas sean satisfactorios es preciso disponer de datos de calidad. La calidad de los datos de los indicadores e índices de sequía se determina en función de varios factores, entre ellos la disponibilidad de los datos, el calendario del registro, la calidad de los datos históricos en las estaciones, la transmisión de los datos en tiempo casi real, el mantenimiento de la red de estaciones y la capacidad de medir la precipitación en condiciones de temperaturas frías, especialmente en localidades del norte o alpinas. Algunos de esos factores guardan relación con la capacidad de ofrecer datos de forma oportuna, lo que puede ser muy importante en el caso de las sequías meteorológicas. Por último, la densidad de datos desempeña un papel muy importante en la resolución espacial que se puede lograr en la elaboración de mapas de sequías.

Uno de los mayores problemas relacionados con la elaboración de mapas de sequías meteorológicas es tratar de obtener la resolución espacial que necesitan las instancias decisorias, y conseguir que se ajuste a esas necesidades, sobre la base de la información disponible actualmente. Esa limitación está vinculada a la densidad de datos puntuales, que puede no estar disponible en la resolución deseada por las instancias decisorias. A la vista de ese problema, resulta alentadora la promesa de los potenciales productos de teledetección, algunos de los cuales pueden ofrecer datos en determinadas resoluciones espaciales en regiones donde los datos puntuales *in situ* están relativamente dispersos y no son fiables. La mayoría de los productos satelitales ya están incorporados en cuadrículas (o pixelados) según la descripción anterior. En Estados Unidos, algunos productos actualmente se elaboran para utilizar datos de estaciones en combinación con datos de teledetección. Los datos de estaciones se utilizan para ayudar a

perfeccionar los datos de teledetección, y los mapas “híbridos” resultantes poseen un mayor nivel de exactitud.

Las cuestiones topográficas, en particular las relativas a montañas y cambios rápidos del terreno, representan un verdadero problema para la elaboración de mapas de sequías meteorológicas por dos motivos. En primer lugar, la densidad de datos suele ser menor en las regiones montañosas. Y en segundo lugar, dado que los métodos de interpolación se basan generalmente en correlaciones, la relación entre regiones adyacentes respecto de la precipitación suele ser especialmente discontinua en las zonas donde el terreno cambia de forma rápida y abrupta. Como resultado, las superficies interpoladas de forma continua en un producto de mapa acabado puede que no tengan correspondencia real con la variabilidad natural, especialmente los indicadores e índices relativos a la precipitación.

Habida cuenta de las complejidades relativas a los datos de sequías meteorológicas y las características de las técnicas de elaboración de mapas, es importante que las instancias decisorias comprendan estos factores cuando interpreten los mapas de severidad de sequías y extensión espacial.

REFERENCIAS

- Edwards, D. C. y T. B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Departamento de Ciencia Atmosférica, Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, Colorado.
- Guttman, N.B., 1994: On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climate*, 7(6):1026–1029.
- Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer drought index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1):113–121.
- , 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2):311–322.
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17 a 22 de enero de 1993. American Meteorological Society, Boston, 179–184.
- , 1995: Drought monitoring with multiple timescales. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, Dallas, Texas, 15 a 20 de enero de 1995. American Meteorological Society, Boston, 233–236.
- Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería y J.I. López-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, 23(7):1696–1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Wilhite, D.A. y M.H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10:111–120.
- Wu, H., M.D. Svoboda, M.J. Hayes, D.A. Wilhite y F. Wen, 2007: Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27(1):65–79.

OTROS RECURSOS EN LÍNEA

<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>

<http://drought.mssl.ucl.ac.uk/spi.html>

<http://www.wrcc.dri.edu/spi/spi.html>

<http://ccc.atmos.colostate.edu/standardizedprecipitation.php>

<http://www.wmo.int/drought>

Para más información, diríjase a:

Organización Meteorológica Mundial

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH-1211 Ginebra 2 – Suiza

Oficina de comunicación y de relaciones públicas

Tel.: +41 (0) 22 730 83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: cpa@wmo.int

Departamento del clima y del agua

Tel.: +41 (0) 22 730 83 05 – Fax: +41 (0) 22 730 80 42

Correo electrónico: agm@wmo.int

www.wmo.int/agm