

# **ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA SEQUÍA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA.**

## **1. RESUMEN.**

En el presente trabajo se ha realizado un estudio de la sequía en la Península Ibérica en el periodo 1900-2011 para diferentes escalas temporales. En primer lugar se ha analizado la evolución de la misma a partir del índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) en escalas de 3, 6, 12, 18 y 24 meses, estudiando la tendencia, frecuencia e intensidad de los diferentes episodios de sequía. Se ha llevado a cabo una regionalización para poder observar la evolución de este fenómeno de forma más precisa, en relación con las diferentes configuraciones atmosféricas que afectan a la Península Ibérica. Los resultados obtenidos para las diferentes regiones son similares, observándose una tendencia hacia el incremento de las condiciones de sequía, para todas las escalas de tiempo, siendo más clara esta tendencia desde la segunda mitad de la década de 1970 y principios de la década de 1980. Es a partir de estos años cuando los episodios de sequía se dan con mayor frecuencia, siendo de mayor intensidad. En segundo lugar, para la escala temporal de 12 meses, se ha llevado a cabo una comparación, para el periodo 1910-2000, entre los resultados obtenidos en este trabajo con y los resultados obtenidos por otros autores utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), en el que sólo se incluye la variable precipitación. Esta comparación ha permitido comprobar la influencia de la variable temperatura, considerada en el cálculo de la evapotranspiración potencial (*PET*). Los resultados presentan pequeñas diferencias pero el SPEI muestra una mayor capacidad a la hora de detectar episodios de sequía. Se ha comprobado que, aunque la precipitación es la variable principal capaz de determinar las variaciones en las condiciones de sequía, el efecto de la temperatura resulta fundamental, especialmente en las últimas décadas como consecuencia del calentamiento global. De esta forma, el SPEI se revela como un índice efectivo para la detección, seguimiento, monitorización y en general, para el análisis de este tipo de eventos.

## **2. INTRODUCCIÓN.**

La sequía es uno de los peligros naturales más dañinos y frecuentes en todo el Mundo, produciendo impactos negativos en la agricultura, en los recursos hídricos, en los ecosistemas y en aspectos socioeconómicos. En la actualidad no existe unanimidad a la hora de definir la sequía, aunque de forma general se puede definir la sequía como un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un desequilibrio hidrológico.

Debido a que las sequías son fenómenos naturales difíciles de identificar en tiempo y espacio y a su vez, siendo complejo determinar el inicio como el final de la misma, así como su duración, magnitud o extensión superficial, nacen los denominados índices de

sequía, creados con la necesidad e intención de medir estas características. Para estos índices se parte de datos de precipitación, evapotranspiración, temperatura o recursos de agua existentes en el suelo, entre otros, siendo la precipitación la variable más seleccionada, pero la tendencia ascendente de la temperatura en los últimos años, está teniendo un impacto notable en la disponibilidad de recursos hídricos, lo que ha hecho que la variable temperatura sea incluida en algunos índices durante las últimas décadas.

Debido a la variedad encontrada en la definición de sequía, ha sido difícil establecer un índice de sequía que sea único y universal. El Índice de Palmer (PDSI), el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) o el Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizada (SPEI) son algunos de los más comunes. Para la realización del trabajo se ha seleccionado el SPEI, siendo un índice que incluye las variables de precipitación y temperatura, mediante el cálculo de la *PET*, además de la inclusión de varias escalas temporales. Con el SPEI es posible identificar, analizar y hacer seguimiento detallado de la sequía, además de medir la gravedad en función de la intensidad y duración y, a su vez, es capaz de identificar el inicio y el final de los episodios de secos. Con el SPEI y, gracias a su carácter multiescalar, podemos detectar los diferentes tipos de sequía, desde la sequía meteorológica, hasta las sequías hidrológicas, agrícolas y socioeconómicas.

El seguimiento del fenómeno de la sequía requiere especial importancia en la Península Ibérica, ya que se encuentra situada en una zona de transición climática y es donde se dan las mayores diferencias en los patrones espaciales de las sequías.

El objetivo es comprender la evolución de la sequía, establecer las diferencias existentes entre las distintas escalas temporales así como observar la frecuencia e intensidad de las mismas. Debido a la complejidad de los patrones espaciales de sequía, haciendo uso del Análisis de Componentes Principales (PCA), estableceremos una regionalización, sobre la que se podrá observar la evolución para las diferentes áreas encontradas. Se analizarán brevemente las diferentes configuraciones atmosféricas que dan lugar a la aparición de las sequías en las diferentes regiones y finalmente se realizará una comparación, para la escala temporal de 12 meses, entre los resultados obtenidos con el SPEI y los correspondientes al Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), que sólo incluye la variable precipitación lo que permitirá inferir cómo influye la inclusión de la variable temperatura (tenida en cuenta en el cálculo de la evapotranspiración potencial, *PET*, utilizada en el SPEI, pero no en el SPI) a la hora de medir la intensidad de las sequías.

### **3. DATOS.**

Para la realización del análisis de la sequía se trabaja con datos que están estandarizados sobre píxeles de tierra emergida con una resolución espacial de 0.5º, además adquieren una característica multiescalar ya que proporcionan escalas que abarcan desde 1 mes a 24 meses, cubriendo el periodo comprendido desde enero de 1901 a diciembre de 2011. Dichos datos son accesibles a partir de la dirección <https://digital.csic.es>. Son datos basados en la precipitación media mensual y en la *PET* obtenidos de la base de datos

CRU.1 (<http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/>) de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia, Reino Unido.

Los datos correspondientes al SPI, para la posterior comparación con el SPEI, han sido extraídos del trabajo de Vicente-Serrano et al. (2010).

El SPEI utiliza la estimación de la *PET* a través de la fórmula de Thornthwaite (1948). A partir de aquí utiliza la diferencia mensual o semanal entre la precipitación y el *PET*, lo que viene a representar un balance hídrico climático simple que se fija en diferentes escalas de tiempo. Una vez calculado la *PET* se calcula la diferencia entre la precipitación y la *PET*, proporcionando el resultado una medida simple del agua excedente o deficitaria para el mes concreto.

#### **4. METODOLOGÍA**

El número de datos de los que se dispone para la realización del trabajo es elevado, resultando entonces complicado trabajar con todos ellos para obtener los resultados. Es por ello por lo que se utiliza el método de las técnicas de análisis multivariante. El objetivo de estas técnicas consiste en analizar y estudiar la información subyacente en un conjunto de datos, buscando una reducción de los mismos, a la vez que una clasificación y agrupamiento además de una relación de dependencia entre variables.

Con el fin de obtener los principales modos de variabilidad espacio temporal de la sequía en la Península Ibérica aplicamos la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA), buscando una reducción de las dimensiones del espacio observacional y para dicha reducción creamos combinaciones lineales entre las variables que caracterizan los objetos de estudio. Estas combinaciones, denominadas Componentes Principales, deben satisfacer ciertas condiciones estadísticas y matemáticas. Esta técnica proporciona una medida cuantitativa de la correlación entre los nuevos componentes creados y las variables originales.

A partir de las combinaciones lineales se obtienen las componentes principales. Cada componente principal tiene asociada un EOF (Función Empírica Ortogonal). A partir de estas funciones podemos identificar los modos de variabilidad que buscamos para el análisis de la sequía. Cada componente principal debe representar un porcentaje mayor de la varianza que la serie original. Así, es posible reducir el número de variables a analizar perdiendo la mínima porción de la varianza original del campo. Cada vector propio o EOF es seleccionado de tal manera que maximice la varianza de la correspondiente componente principal. El valor de cada uno de los valores propios corresponde a la varianza explicada por cada componente principal asociada a una EOF en particular. Se obtienen los factores de carga que son las correlaciones existentes entre una variable original y un factor, obtenido por combinación lineal de las variables originales. Para establecer un valor propio a partir del cual no tenemos información o ésta no nos resulta útil, establecemos una regla de selección, que en este caso es la Regla de North. Finalmente, ya que resulta complicado interpretar físicamente las EOFs debido a su condición de ortogonalidad, se lleva a cabo el proceso de rotación y gracias a este

procedimiento podemos obtener mejores resultados físicos, además de estructuras más localizadas en el espacio. Ahora, las nuevas EOFs reciben el nombre de REOFs y han sido obtenidas a partir utilizando la rotación varimax-raw.

## **5. RESULTADOS.**

Se han obtenido los resultados del análisis de los índices SPEI para las diferentes escalas temporales de tiempo de 3, 6, 12, 18, y 24 meses, obteniéndose para cada una de ellas las componentes principales que resultan significativas de acuerdo con la Regla de North, a las que se le ha aplicado posteriormente la rotación varimax. Se representan los factores de carga en un mapa, donde se han regionalizado 3 zonas, una región al oeste peninsular, otra al este y una tercera región septentrional. Las zonas que concentran las correlaciones más fuertes son las que están mejor representadas por el patrón de variabilidad representado. A su vez, se ha obtenido, para cada escala, las correspondientes series temporales a las que se les ha realizado una media móvil de 8 años, para que de esta forma, se identifique mejor la tendencia de las condiciones de sequía en las diferentes regiones. A partir de aquí se representan las EOFs ya rotadas (REOFs) para todos los meses, además para la escala temporal de 3 meses se representan también los modos resultantes sin rotar, para, de esta forma, apreciar la diferente distribución de la varianza y el cambio que se produce una vez realizada la rotación. Además, para esta misma escala y para los modos sin rotar se ha representado un gráfico donde se exponen los valores propios, concentrándose la mayor varianza en la primera componente principal.

Una vez representadas todas las escalas temporales se ha observado bastante similitud entre ellas, obteniéndose áreas de fuerte correlaciones más extensas en las escalas pequeñas. A medida que la escala se hace mayor, las correlaciones más fuertes se van reduciendo a superficies más pequeñas. Este efecto se ha notado en menor medida en la región mediterránea donde la variación entre las diferentes escalas fue menor. También, para todas las escalas de tiempo se aprecia un incremento de la variabilidad espacio-temporal con el paso de los años, principalmente a partir de la década de 1930, como también una tendencia hacia mayores condiciones de sequía, siendo esta mayor para todas las regiones principalmente a partir de mediados de la década de 1970 y principios de 1980, donde la tendencia hacia dichas condiciones es muy marcada. Es a partir de estos años cuando, en general, los periodos secos son más intensos y se dan con mayor frecuencia y magnitud. Fenómeno que ha sido observado para las 3 regiones establecidas.

## **6. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.**

Se han analizado los patrones espaciales y temporales de la sequía en la Península Ibérica entre 1900 y 2011 mediante el estudio del SPEI en escalas temporales de 3, 6, 12, 18 y 24 meses.

Es importante el estudio y seguimiento de la sequía en la Península Ibérica ya que este tipo de fenómenos aparece con frecuencia, causando numerosas pérdidas económicas y

ecológicas, entre otras. La evolución hacia mayores condiciones de sequía hace cada vez más necesario el entendimiento de su comportamiento temporal y el conocimiento de sus patrones espaciales. Se ha comprobado como la evolución de la sequia puede ser muy diversa, no afectando de la misma forma a todas las regiones.

Para comprobar los resultados, hemos dividido a la Península Ibérica en 3 regiones diferentes. Por lo general se aprecian resultados muy parejos, con correlaciones que se reparten de forma parecida entre las distintas escalas de tiempo. A su vez, para todas ellas, se ha comprobado un aumento de las condiciones de sequía durante el siglo XX y principio del siglo XXI.

Aun así encontramos algunas pequeñas diferencias entre las 3 regiones establecidas en función a las variables precipitación y *PET*. Las diferencias que se han obtenido mediante el análisis de las diferentes regiones pueden ser atribuidas a la conjunción entre la complejidad del relieve peninsular y la diversidad de flujos y patrones termo pluviométricos que afectan a la Península Ibérica. Así, en cuanto a la precipitación, los modos de variabilidad resultantes pueden ser explicados en gran parte por las diferencias espaciales de la influencia de los principales patrones de teleconexión que afectan a la Península Ibérica como puede ser la NAO, para la región occidental, la ENSO, para la región oriental o el Patrón Escandinavo para la región cantábrica, entre otros, ya que estos patrones no son los únicos que afectan a la Península, pero si entran dentro de los más comunes y frecuentes.

Para comprobar cómo afecta la *PET* en los índices de sequía se ha realizado una comparación de los datos obtenidos con el SPEI con aquellos obtenidos con el SPI a partir del trabajo de Vicente-Serrano et al. (2010), donde se trabaja con escala temporal de 12 meses, por lo que la comparación entre ambos índices se hace para la misma escala de 12 meses. Finalmente se comprueba que la *PET* influye en los índices de sequía, principalmente durante las últimas décadas. Estas diferencias no se han dado de la misma forma, siendo en la región septentrional donde las diferencias son menores y donde los resultados obtenidos a partir de ambos índices apenas registran variación. En cambio es en la región mediterránea donde más se ha notado, ya que allí es donde el aumento de la temperatura durante los últimos años ha sido mayor.

En resumen, se puede decir que ha quedado comprobado que la variable temperatura, en función de la *PET*, es útil para el seguimiento y medición de la sequía y aunque la precipitación es la principal determinante de la variación de la misma, la influencia de la temperatura no puede pasar desapercibida y más en el escenario actual de calentamiento global, por lo que se considera al SPEI como un índice adecuado para el estudio de la sequia en el ámbito de la Península Ibérica.