Previsibilidad de las sequías - Parte 3

Gustavo V. Necco Carlomagno - José L. Aiello

¿Pueden predecirse las sequías? ¿Qué enfoques utilizan los modelos en uso? ¿Cuáles son las líneas de investigación más recientes en la materia?

Hemos visto en informativos semanales anteriores que la sequía es un evento extremo que ocurre naturalmente y se caracteriza por precipitaciones por debajo de lo normal durante un período de meses a años.

También vimos que la sequía es un fenómeno complicado y se encuentra entre los peligros naturales menos comprendidos debido a sus múltiples mecanismos causantes o factores contribuyentes que operan en diferentes escalas temporales y espaciales. Si bien esencialmente se origina en un déficit de precipitación, en general el desarrollo y la evolución de la sequía son el resultado de interacciones complicadas entre anomalías meteorológicas, procesos en la superficie terrestre y actividades humanas.

La demanda de agua ha aumentado debido, además del cambio climático, al crecimiento de la población y la expansión de los sectores agrícola e industrial, lo que agrava los devastadores impactos de la sequía en muchas partes del mundo. Por lo tanto, una previsión fiable de sequías es de primordial importancia para una buena gestión agrícola y de los recursos hídricos al aumentar y mejorar la preparación previa.

Debido a su complejidad, con diversos orígenes y ocurrencia en diferentes escalas temporales y espaciales, la predicción de sequías ha presentado un gran desafío para los climatólogos e hidrólogos, así como para los encargados de tomar decisiones y formular políticas.

Concepto de previsibilidad

La habilidad (*skill*) para pronosticar sequías tiende a ser limitada a mediano plazo, especialmente en las regiones con menor impacto de los fenómenos globales meteorológico-oceánicos como El Niño –La Niña/Oscilación Austral (ENOS). Por eso, hay un fuerte interés en la cuestión ¿qué podríamos hacer para mejorar la previsión de sequías? O ¿cuál es la previsibilidad potencial de la sequía?

Básicamente, la previsibilidad (*predictability*) caracteriza la "capacidad de ser predicho" mientras la habilidad (*skill*) de pronóstico caracteriza "la capacidad de predecirlo" (Ref. 1).

Ha habido en años recientes un gran esfuerzo en el área de la previsibilidad de los fenómenos de tiempo y del clima (Ref. 2). Aclaremos que con tiempo o temperie nos referimos a elementos diarios como temperatura, precipitación, viento o nubosidad que cambian en forma horaria o diurna, en tanto que el clima se refiere al comportamiento del tiempo en periodos largos, normalmente 30 años (una síntesis estadística del tiempo).

La previsibilidad se estudia normalmente mediante el uso de modelos fisicomatemáticos de la atmósfera. ¿Por qué necesitamos modelos fisicomatemáticos? Un conjunto, aún completo, de las observaciones meteorológicas de todas las estaciones de superficie, de altura y de los satélites operativos nos daría una vista instantánea, actual, del estado de la atmósfera. Para saber el tiempo que hará mañana nos hace falta un modelo (físico matemático) que simule, en base a principios de la física Newtoniana, cómo evoluciona la atmósfera. Mas aún, el conjunto de estas observaciones de orígenes diferentes no puede dar una imagen completa, coherente, de la situación meteorológica en un momento dado. Para que este conjunto de observaciones se ajuste de forma coherente para obtener un estado completo, global, de la atmósfera, hace falta la aplicación de un modelo.

La atmósfera es casi, pero no totalmente, determinista. Edward Lorenz, un meteorólogo pionero en los temas de previsibilidad y caos en la atmósfera, elaboró una imagen que ilustra bien esta situación: la de la mariposa cuyo batir de alas una quincena de días más tarde cambia el tiempo en zonas remotas del planeta. Sin dudas es una metáfora indemostrable, pero ilustra los procesos que alteran las previsiones y limitan su utilidad.

El límite absoluto de previsibilidad de dos semanas es un valor teórico; en la práctica es bastante menor debido, por un lado, a los errores del estado inicial y, por otro, a la imperfección de los modelos. Podemos decir que, en la actualidad los sistemas más avanzados de previsión numérica del tiempo dan resultados útiles hasta alrededor de una semana. Las previsiones de uno a dos-tres días son muy buenas o buenas; más allá se degradan poco a poco, hasta perder todo

interés.

¿Hay esperanzas de ir más allá de los límites deterministas? Si, no sólo con la ayuda de la estadística, sino también del estudio del comportamiento a largo plazo del sistema Tierra (en particular de las interacciones entre sus componentes: atmósfera, tierra, océanos, hielos, biósfera). Mal que le pese a los impulsores del "New Age" y el postmodernismo las leyes físicas se siguen cumpliendo (aunque a veces, es cierto, no se comprendan bien las causas).

A partir de los diez días la atmósfera tiene un comportamiento macroscópicamente previsible: las estaciones de año y las zonas climáticas testimonian de fenómenos reguladores de su circulación general. Un ejemplo típico es el fenómeno de El Niño/Oscilación Austral (o del Sur) ENOS, ya visto, que pone en juego interacciones con la circulación oceánica, mucho más lenta a evolucionar que la atmósfera. Los regímenes de tiempo ligados al Niño tienen fuertes potenciales predictivos estacionales. También la temperatura del mar evoluciona lentamente y los modelos que acoplan la atmósfera con el océano podrían dar prospectivas estadísticamente útiles hasta uno o dos años. También hay otros fenómenos de evolución lenta que influyen en los regímenes de tiempo, como la humedad del suelo o la extensión de los campos de nieve.

La previsibilidad de los extremos climáticos (p. ej. sequía) ha recibido poca atención. Hay autores que encuentra que la previsibilidad es más alta que la habilidad de pronóstico, y la brecha entre ellos presenta un margen de mejora, pero otros argumentan que no hay necesariamente una relación entre previsibilidad y habilidad de pronóstico. La inconsistencia de estos estudios sugiere que la previsibilidad y la habilidad de pronóstico pueden depender de los modelos climáticos usados, las regiones de estudio y las variables climáticas. Además, también se necesita una investigación cuidadosa sobre si la previsibilidad de la sequía estacional está asociada con el ENOS y cómo los modelos representan tal asociación. (Ref. 1)

Métodos en la previsión de sequías

Generalmente se han utilizado tres tipos de métodos para la predicción de sequías: estadístico, dinámico y métodos híbridos (Ref. 1).

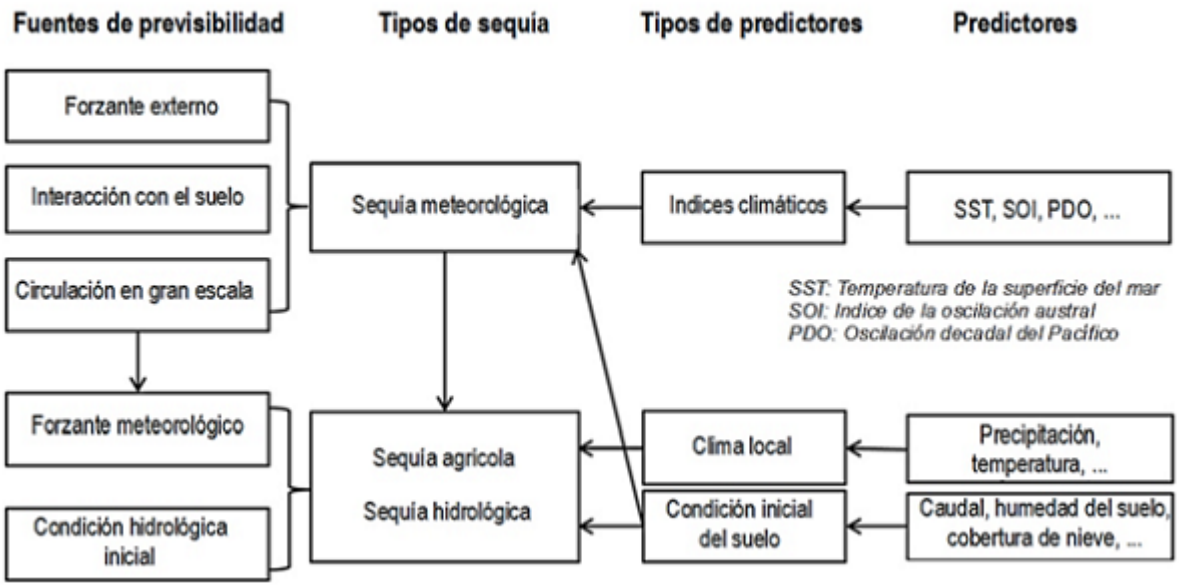
El método de predicción estadística utiliza relaciones empíricas de registros históricos, tomando diferentes factores de influencia como predictores.

Con una mayor capacidad computacional y una mejor comprensión de la físico-dinámica del clima, la predicción de sequías en los últimos años se ha abordado más con modelos de circulación general (*GCM – General Circulation Models*) de última generación, que proporcionan una predicción basada en los procesos físicos de la atmósfera, el océano y la superficie terrestre.

La última década también ha sido testigo del desarrollo de métodos de predicción híbridos que combinan el pronóstico de métodos tanto estadísticos como dinámicos.

El enfoque estadístico

Para la predicción estadística normalmente se identifica primero una variedad de predictores a partir de registros hidro climáticos históricos (incluidos los oceánicos, atmosféricos y componentes terrestres) y luego se alimentan a diferentes modelos estadísticos para predecir diferentes tipos de sequías.



La figura anterior (Ref. 1) presenta las fuentes de previsibilidad de diferentes tipos de sequía y los predictores de uso común para la predicción estadística de sequías en una escala de tiempo estacional.

Si bien los predictores generalmente se obtienen a partir de observaciones históricas (o reanálisis) que ya se conocen antes del período de predicción, con los avances actuales en el pronóstico del tiempo y el clima los predictores también pueden obtenerse a partir del pronóstico dinámico para la predicción de variables hidro climáticas.

En la vigilancia y seguimiento de las sequías además del estudio de series de los índices ya mencionados se aplican métodos estadísticos para estimar frecuencias y periodos de retorno.

El enfoque dinámico

El método dinámico para la predicción de sequías se basa en modelos climáticos y / o modelos hidrológicos que simular procesos físicos de la atmósfera, el océano y la tierra. Aquí se aplican los modelos fisicomatemáticos descritos anteriormente. La predicción dinámica de sequías hidrológicas y agrícolas en escalas de tiempo estacionales generalmente se logra sobre la base de modelos hidrológicos guiados por modelos climáticos con cierta habilidad de predicción, que depende tanto de los forzamientos climáticos como de las condiciones iniciales.

Debido a la resolución gruesa de los pronósticos con modelos climáticos y a sus sesgos, se han comúnmente utilizado técnicas de posprocesamiento y de conjuntos multi-modelo para mejorar la habilidad de predicción

Comparación de los enfoques estadístico y dinámico

La figura siguiente (Ref. 1) describe un marco esquemático de los métodos estadísticos y dinámicos de predicción de sequías (la precipitación, la temperatura, la humedad del suelo y la escorrentía se abrevian como P, T, S y R, respectivamente).

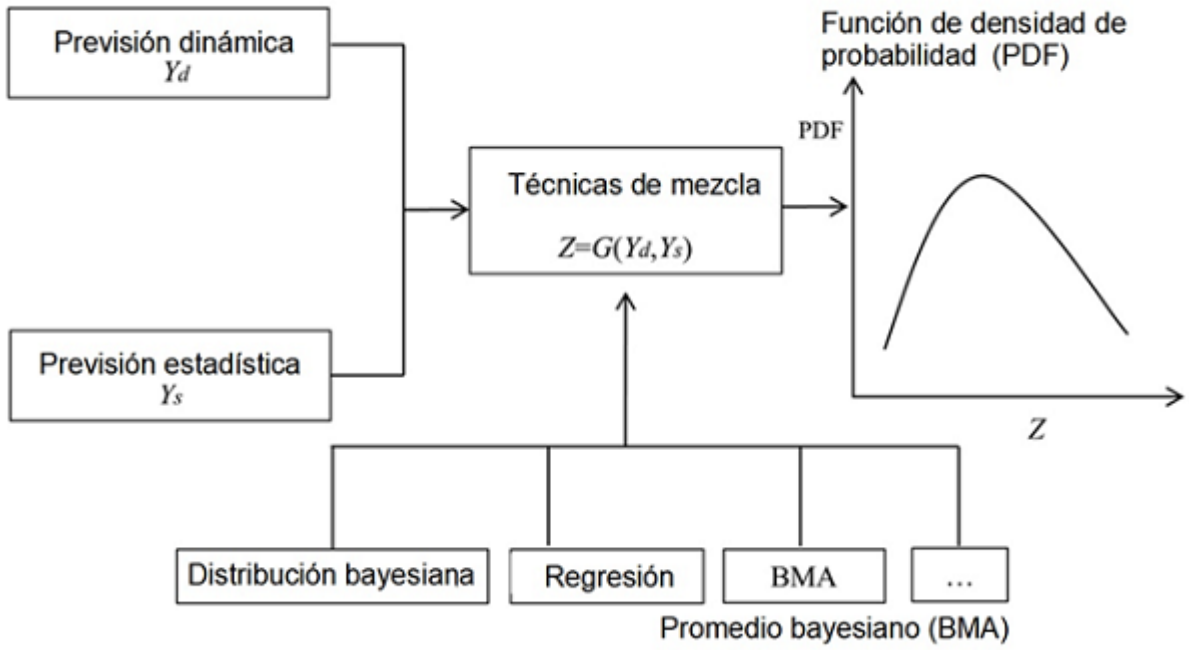
Generalmente, es difícil determinar qué método es finalmente el mejor, y la habilidad predictiva siempre depende de la temporada, región y el periodo de previsión. Sin embargo, existe una clara ventaja de los métodos dinámicos sobre los estadísticos en la predicción hidrológica si el pronóstico de precipitación con modelos fisicomatemáticos (GCMs) da buenos resultados. Además, para la predicción a largo plazo la habilidad predictiva de los métodos dinámicos es generalmente más alta que la de los métodos estadísticos. Cuando la habilidad de predicción del pronóstico climático con modelos dinámicos es baja, la predicción estadística puede proporcionar un pronóstico útil.

Varios estudios han demostrado que los dos tipos de métodos pueden complementarse entre sí. En general, los métodos estadísticos y dinámicos son complementarios en la predicción de la sequía (y del clima) en el sentido de que una mejor comprensión de los pronósticos estadísticos exitosos puede conducir a mejores modelos dinámicos, y viceversa.

El enfoque híbrido

La predicción híbrida estadístico-dinámica de las sequías implica principalmente dos pasos: calibrar el pronóstico del clima para corregir el sesgo (y la dispersión) de los pronósticos de los modelos de circulación general fisicomatemáticos (GCMs) y combinarlo con pronósticos de múltiples fuentes.

Se muestra en la figura siguiente un marco esquemático de la predicción híbrida de sequía, que fusiona diferentes pronósticos (Ref. 1).



Marco esquemático de predicción híbrida de sequías basado en un indicador de sequía Z mediante la fusión de la previsión dinámica (Yd) y la previsión estadística (Ys) con la función G.

Las técnicas de fusión o mezcla (*merging*) de uso común, incluido el modelo de regresión, la distribución posterior bayesiana y el promedio bayesiano BMA (*Bayesian Model Averaging*), pueden emplearse para obtener una predicción probabilística. El método de regresión se puede utilizar directamente para incorporar múltiples indicadores de pronóstico climático y pronóstico estadístico (u observaciones) con el objetivo de obtener coeficientes y parámetros de cada pronóstico en forma de combinación lineal. La distribución posterior bayesiana se puede utilizar para actualizar el pronóstico dinámico con la distribución previa derivada del pronóstico estadístico. Además, los dos tipos de pronósticos también se pueden combinar a través de promedios bayesianos para obtener el peso óptimo de cada miembro para producir una predicción única.

Se ha demostrado que el método híbrido estadístico-dinámico, basado en la calibración, el puenteo (*"bridging"*) y la fusión (*"merging"*) - CBaM - proporciona mejores pronósticos de las variables climáticas mediante el posprocesamiento de los resultados de los GCMs basados en un modelo de probabilidad conjunta bayesiano (para calibración y puente) y promedio bayesiano (para fusionar). Para este método, el "puenteo" representa la predicción estadística que utiliza los pronósticos de índices climáticos de los GCMs como predictores para producir pronósticos alternativos y la "fusión" se usa para combinar de manera óptima los diferentes pronósticos.

En ciertos casos también se denomina predicción híbrida estadístico-dinámica a la combinación del pronóstico dinámico con predictores obtenidos de observaciones en un marco de predicción estadística.

En la última década, la predicción híbrida estadística-dinámica ha prestado mucha atención a integrar la habilidad de predicción de ambos modelos. Se ha demostrado que se puede lograr el mejor pronóstico mediante la combinación de todas las fuentes de predicciones para respaldar una toma de decisiones bien informada. Dado que la calibración del pronóstico climático es una componente importante de la predicción híbrida, el desarrollo de nuevas técnicas de posprocesamiento de predicción climática e hidrológica es una tarea esencial para mejorar la predicción de sequías. Además, las técnicas de fusión de diferentes pronósticos de modelos dinámicos o estadísticos deben investigarse más a fondo para lograr una combinación óptima.

El desarrollo de modelos híbridos de predicción de sequías y la evaluación de su desempeño en diferentes regiones y estaciones para diferentes tipos de sequía brindarían nuevas oportunidades para mejorar la capacidad de predicción estos fenómenos.

Como ejemplo a destacar mencionemos la aplicación por el Centro Europeo (ECMWF) de su sistema de previsión por *ensembles* (conjuntos) EPS al seguimiento (monitoreo) y previsión de las sequías meteorológicas usando técnicas

híbridas. Han tenido cierto éxito, por ejemplo, en prever las condiciones secas asociadas con La-Niña en septiembre-diciembre de 2010 en el Cuerno de África, que fueron correctamente pronosticadas por los pronósticos estacionales del ECMWF a partir de junio de 2010 en adelante. Siguen aplicando este enfoque para el área europea (Ref. 3).

Perspectivas

Aún existen importantes desafíos en la predicción de sequías a mediano y largo plazo, en un entorno cambiante resultante de factores naturales y antropogénicos. Las perspectivas futuras de investigación para mejorar la predicción de sequías incluyen, entre otros elementos, la asimilación de datos de alta calidad, el desarrollo mejorado de modelos con procesos claves relacionados con la ocurrencia de sequías, el pronóstico de conjunto (*ensemble*) óptimo para seleccionar o ponderar estos conjuntos, y la predicción de sequía híbrida fusionando pronósticos estadísticos y dinámicos.

El uso de técnicas de inteligencia artificial, aprendizaje automático (*machine learning*) y aprendizaje profundo (*deep learning*) también comienza a experimentarse para el caso de sequías.

Como hemos visto las sequías abarcan una enorme variedad de escalas temporales y es importante mejorar los esquemas de previsión que van más allá del medio-plazo (dos semanas). Existe por lo tanto un interés creciente en las comunidades científicas, operativas y de aplicaciones en el desarrollo de pronósticos sub-estacionales a estacionales para proporcionar una alerta temprana de eventos de alto impacto como inundaciones, sequías, olas de calor y frío.

Para cerrar la brecha existente entre las previsiones meteorológicas de medio-plazo y los pronósticos estacionales la OMM (Organización Meteorológica Mundial) dentro del Programa de Investigación Meteorológica Mundial (WWRP) y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (WCRP), lanzó en el año 2013 una iniciativa de investigación conjunta: el Proyecto para la Predicción Subestacional a Estacional (S2S). El proyecto intenta mejorar la habilidad de pronóstico y la comprensión en las escalas de tiempo sub-estacional a estacional, con especial énfasis en los eventos climáticos de alto impacto, y promover la adopción de los resultados por parte de los centros operativos, así como su explotación por parte de la comunidad de aplicaciones.

La Fase II del proyecto S2S comenzó en enero de 2019 y continuará hasta 2023, incluyendo nuevos conjuntos de sub-proyectos científicos, así como nuevas actividades de investigación operativas (Ref. 4), por lo que tenemos cierta esperanza que se siga expandiendo el conocimiento sobre la previsión de eventos extremos, en particular las sequías.

Referencias

1. Hao, Z., Singh, V. P., & Xia, Y. (2018). Seasonal drought prediction: Advances, challenges, and future prospects. Reviews of Geophysics, 56, 108–141.
2. Krishnamurthy, V. (2019), Predictability of weather and climate, Earth and Space Science, 6, 1043–1056.
3. C. Lavaysse, J. Vogt and F. Pappenberger (2015), Early warning of drought in Europe using the monthly ensemble system from ECMWF, Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 3273–3286.
4. WCRP World Climate Research Programme, Subseasonal-to-Seasonal (S2S) Prediction Project, http://s2sprediction.net/static/about