

Uso de las predicciones climáticas estacionales en el sector del agua

Laurent Pouget, Manuel Gómez, Àngels Cabello
Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

Ernesto Rodríguez Camino, Beatriz Navascués, José Voces, Eroteida
Sánchez
AEMET, Madrid

Abel Solera
UPV, Valencia

1. Introducción

Este artículo presenta los resultados del proyecto europeo del séptimo programa marco EUPORIAS - European Provision Of Regional Impacts Assessments on Seasonal and Decadal Timescales y, en particular, el uso de las predicciones climáticas estacionales en el sector del agua en España. Se han estudiado dos aplicaciones: la previsión de las aportaciones a los embalses, y la predicción de la demanda de agua urbana. En este documento se describe la primera aplicación. Los resultados confirman las oportunidades de usar las predicciones estacionales, pero también permiten identificar las limitaciones actuales para utilizar estas predicciones en España. Una metodología para la incorporación de las previsiones estacionales en la toma de decisiones está siendo desarrollada gracias a la colaboración de un equipo multidisciplinar que incluye gestores del agua, meteorólogos, reguladores e investigadores.

2. Predecibilidad a escala estacional

Diferentes condiciones determinan la evolución de las variables atmosféricas en los próximos días, meses y décadas. En el plazo estacional, por ejemplo, la variación de la temperatura del agua superficial en el Pacífico (El Niño) tiene un impacto importante sobre lo que está pasando y ocurrirá en otros lugares del mundo en los próximos meses (p. ej. más seco o lluvioso). Los modelos climáticos permiten simular las evoluciones posibles a partir de una situación inicial conocida del estado del océano y del resto de componentes del sistema climático.

Los modelos climáticos representan de forma aproximada los procesos físico-químicos que se producen en las componentes del sistema climático y sus interacciones. Tanto la descripción de estos procesos, como la del estado inicial del sistema climático, son imprecisas. Este hecho, unido al comportamiento no lineal y caótico del sistema climático, da lugar a errores en las predicciones de los modelos climáticos. La incertidumbre asociada a las predicciones climáticas se intenta estimar y cuantificar mediante la realización de múltiples simulaciones. Cada simulación nos da una idea de la evolución posible de las variables climáticas. Una representación de los posibles estados futuros se materializa realizando diferentes simulaciones con pequeños cambios en un mismo modelo, con condiciones iniciales distintas o utilizando diferentes modelos.

Por este motivo, a escala climática los modelos proporcionan información probabilística: existe no solo uno sino varios futuros posibles, cuya estadística se puede comparar con la climatología. La información probabilística se representa y expresa de la misma forma que la información climatológica como distribución de probabilidad. Las predicciones climáticas producen una distribución de probabilidad de los estados posibles de las variables climáticas futuros diferente a la climatológica, que está basada en los estados de las variables climáticas ocurridos en tiempo pasado.

En algunos países, el clima está muy influenciado por patrones de variabilidad climática relativamente bien conocidos y simulados por los modelos climáticos, como El Niño-Oscilación del Sur. En estas zonas, a pesar de no ser perfectas, las predicciones climáticas basadas en modelos dinámicos y estadísticos proporcionan una información adicional que puede ser muy útil para apoyar decisiones. Muchas organizaciones ya utilizan en estos países las predicciones estacionales de temperatura, precipitación o caudales de los ríos (p.ej. Australia) para mejorar el servicio que dan a sus usuarios, reducir sus costes de operación o aprovechar las posibles oportunidades derivadas.

Sin embargo, la magnitud de los errores de los modelos climáticos en muchos otros lugares del mundo durante las distintas estaciones del año es del mismo orden que la propia variabilidad del clima. Cuando la pericia de las predicciones estacionales es muy baja estas son poco fiables y es la información puramente climatológica la que debe prevalecer en las aplicaciones y toma de decisiones. En términos generales, la predecibilidad a escala estacional para Europa es baja salvo en ciertas ventanas de oportunidad que hay que aprovechar convenientemente. Ello hace que, de momento, en España y en Europa, el uso de las predicciones sea bastante limitado.

No obstante, las predicciones pueden tener una mayor fiabilidad para unos periodos del año o una variable. En España y en los países mediterráneos, los modelos de circulación general océano-atmósfera presentan una mayor calidad de las previsiones de temperatura en verano (Sánchez et al. 2014). La precipitación en invierno en amplias zonas de España está muy influenciada por la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), un patrón dominante de la variabilidad del clima en la zona del Atlántico Norte. A pesar de ciertos progresos recientes (Scaife et al. 2014), en general, los modelos de circulación general todavía muestran un poder predictivo limitado para la NAO en escalas de tiempo estacionales. Por otro lado, Cohen y Jones (2011) han demostrado que la Oscilación del Ártico (AO) en invierno (de la que la NAO es su manifestación regional) está estadísticamente asociada al avance de la cobertura de nieve en Eurasia en otoño. Brands et al. (2012) utilizan estos resultados y muestran la capacidad predictiva de la precipitación en España con una regresión lineal que utiliza como único predictor el índice de avance de cobertura de la nieve propuesto por Cohen y Jones (2011).

2. Metodología

2.1 Descripción general

De acuerdo con estas oportunidades, AEMET ha desarrollado un modelo empírico de predicciones probabilísticas de aportaciones a los embalses basado en el avance de la nieve en Eurasia en otoño como fuente de predecibilidad de la NAO del trimestre invernal, que a su vez lo será de las aportaciones. Las previsiones se incorporarán a un modelo de gestión de embalses para la simulación y el análisis de escenarios. Se han preseleccionado tres embalses en las cuencas de los ríos Ebro, Duero y Tajo propuestos por los agentes implicados en este proyecto (Dirección General del Agua y de las Confederaciones Hidrográficas de estos ríos), y se está desarrollando un modelo para cada sistema utilizando la herramienta SIMRISK (Andreu Álvarez et al.). El objetivo final será probar cambios en las normas de gestión de las presas basándose en las aportaciones previstas. Los resultados del estudio se analizarán a diferentes niveles (Figura 1):

- Comparación de las predicciones estacionales de aportaciones con los datos históricos
- Comparación de las predicciones estacionales de aportaciones con los datos históricos de las reservas embalsadas
- Simulaciones del sistema de gestión integrando las predicciones estacionales de aportaciones, análisis de los resultados y pruebas de medidas anticipatorias

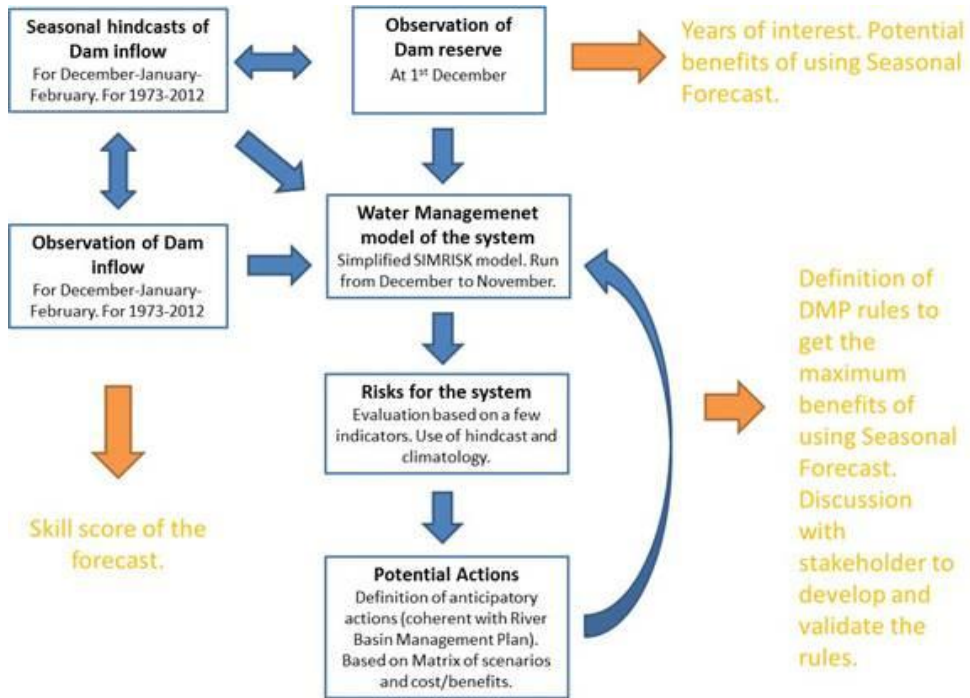


Figura 1. Metodología general

2.2 Modelo de predicción de las aportaciones

Se ha desarrollado un modelo empírico de predicción probabilística de aportaciones a los embalses que aprovecha la predecibilidad de la NAO en el periodo invernal (trimestre diciembre-enero-febrero) debida a la evolución de la cobertura de nieve en Eurasia en otoño, y a la relación entre este patrón de variabilidad atmosférica y la precipitación en amplias zonas de España, y como consecuencia, con las aportaciones a ciertos embalses.

El modelo sigue las recomendaciones del IRI (The International Research Institute for Climate and Society) para el desarrollo de predicciones estacionales de aportaciones a los embalses con métodos estadísticos (Brown et al., 2010). En una primera fase, el sistema proporciona un índice NAO previsto mediante una regresión lineal que utiliza como predictor un índice que mide el avance de la nieve en Eurasia. Su incertidumbre se estima muestreando N veces una función gaussiana que ha sido sintonizada con los residuos de la regresión. En una segunda fase, se aplica un método K-nn (K-nearest neighbour) para encontrar cual fue la aportación histórica correspondiente a cada uno de los N valores previstos de NAO.

De esta forma, el sistema de predicción genera un conjunto de N aportaciones históricas igualmente probables que constituyen la predicción estacional probabilística y cuya distribución de probabilidad puede compararse con la climatológica. La escasa predecibilidad de la atmósfera en las latitudes medias hace que habitualmente se empleen enfoques probabilísticos robustos basados en agrupar las simulaciones producidas por el modelo en terciles. El resultado de la predicción se puede expresar como la probabilidad de cada una de las tres categorías definidas por los terciles climatológicos: aportaciones por debajo de lo normal (en inglés Below Normal o BN), aportaciones normales (Near Normal o NN), y aportaciones por encima de lo normal (Above Normal o AN).

2.3 Modelo de previsión de los riesgos en el sistema

El módulo SIMRISK ha sido diseñado para su uso en gestión de cuencas a medio plazo, para la evaluación de riesgos en la gestión (Andreu Álvarez et al.). Por lo tanto se identificó como la herramienta idónea para realizar las simulaciones utilizando los datos probabilísticos de las predicciones estacionales como datos de entrada. La metodología de uso (Figura 2) consiste en utilizar la información de las predicciones para generar múltiples escenarios futuros probables de aportaciones al sistema en régimen natural; a continuación se realiza la simulación de la gestión con cada uno de estos escenarios considerando la situación inicial de reservas en embalses; por último se hace un análisis de tipo Montecarlo con los resultados obteniendo las probabilidades de interés para los próximos meses.

El periodo considerado en las pruebas realizadas abarca el periodo diciembre-enero-febrero (periodo dónde se dispone de predicciones e importante para el relleno de los embalses) y el periodo marzo-septiembre (periodo de riego, dónde se utiliza las series históricas de aportaciones). Se ha realizado simulaciones independientes para cada uno de los años históricos disponibles. Para cada simulación se considera el volumen histórico embalsado al inicio del periodo (p.ej. uno de diciembre). Finalmente, con los resultados de todas las simulaciones se calcula estadísticos de probabilidad de estado del sistema en cada mes del periodo simulado, lo que se utiliza como estimación probable de la situación a final de la campaña de riego en el periodo histórico para la calibración y evaluación del método en el caso de estudio.

Use of SIMRISK for a few dams in Spain (Douro, Ebro, Tagus)

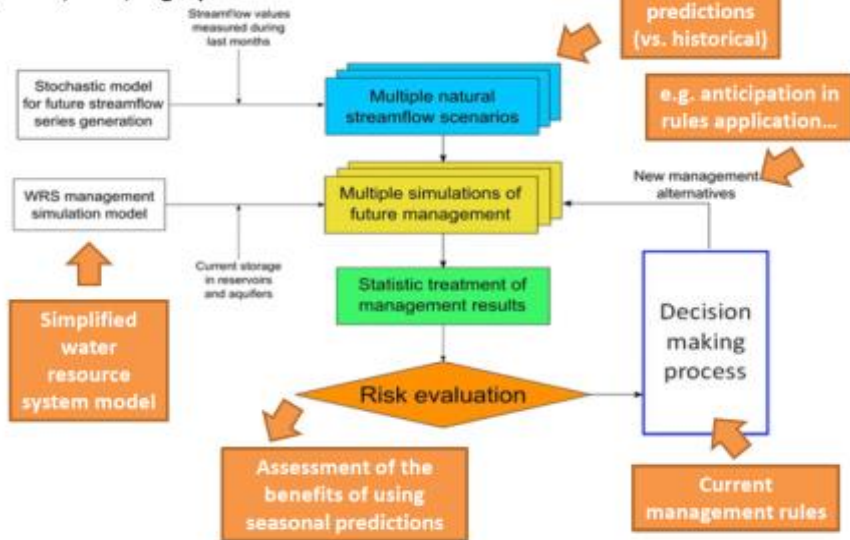


Figura 2. Uso de la herramienta SIMRISK para integrar las predicciones estaciones en la gestión del agua de la cuenca (adaptado de Haro, 2014)

2.4 Modificación de la reglas de decisión

A partir de las simulaciones se identifica los riesgos potenciales para los años considerados, como son el déficit total en la demanda y las reservas bajas en los embalses a finales de septiembre. Para unos años, estos riesgos potenciales se podrían haber reducido con medidas anticipadas de gestión (p. ej. restricciones en uso, limitación de las sueltas del embalse). El efecto de estas medidas se puede probar modificando el modelo SIMRISK y realizando nuevas simulaciones.

Para la aplicación en tiempo real de la metodología se propone la definición de límites de riesgo admisible; de manera que cuando se obtenga del cálculo un resultado calificado como de “alarma” se procederá a repetir las simulaciones con la adopción de medidas paliativas que reduzcan el riesgo del sistema, valorando así la eficacia esperable de las mismas.

3. Primeros resultados

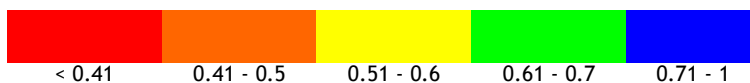
3.1 Validación del modelo de predicción estacional de las aportaciones a los embalses

El modelo empírico de predicción estacional de las aportaciones que se ha desarrollado se ha evaluado en los tres embalses preseleccionados y en un cuarto de la cuenca del río Guadalquivir (Tranco de Beas). En cada uno de ellos se ha llevado a cabo una validación cruzada sobre el periodo retrospectivo en el que se dispone de datos de satélite necesarios para obtener el índice de avance de la nieve: 1973-2011. Para cada invierno para el que se ejecuta el modelo de predicción de aportaciones, se han eliminado los datos de ese año de las series que son necesarias para sintonizar el modelo con objeto de que no influyan en los resultados.

Uno de los índices más empleados habitualmente para la verificación objetiva de predicciones probabilísticas es el área ROC (Relative Operating Characteristic), para dos eventos (valores por encima/debajo del tercil superior/inferior, es decir AN/BN). Las curvas ROC miden la capacidad de discriminación de un evento por parte de un sistema de predicción. El área ROC toma valores entre 0 y 1; 0.5 indica que no hay pericia, 1 indica una discriminación perfecta, y 0 indica una perfecta mala discriminación. Una definición completa de este índice se puede encontrar en Wilks (1995).

Los resultados obtenidos para el área ROC para las categorías AN/BN (que se corresponden a los eventos por encima/debajo del tercil superior/inferior) se presentan en la tabla siguiente para cada uno de los embalses para los que se ha realizado el hindcast (predicciones en el periodo histórico). Se ha utilizado un código de colores dependiente de su calidad para una mejor comprensión de los resultados.

Embalse	Cuerda del Pozo	Rosarito	Tranco de Beas	Ebro
ROC_area (BN)	0.63	0.64	0.71	0.5
ROC_area (AN)	0.76	0.4	0.76	0.7



Se observa que el sistema de predicción basado en el avance semanal de la nieve en Eurasia produce una buena o muy buena discriminación de las categorías AN y BN en los embalses de Cuerda del Pozo y Tranco de Beas (AN aún mejor). Para el embalse del Ebro el sistema de predicción discrimina bien la categoría AN, y en el caso del embalse de Rosarito la categoría BN. Hay que decir que cuando se

consideran periodos más cortos y recientes en los que es posible utilizar un índice de avance de la nieve calculado con productos de satélite de frecuencia diaria los resultados mejoran mucho (salvo para la categoría BN en el embalse del Ebro), y en el caso del embalse de Rosarito el sistema discrimina muy bien las dos categorías.

3.2 Beneficios potenciales

Se está probando la metodología descrita previamente para el embalse de Cuerda del Pozo, en la cuenca del Duero. Se define un modelo de gestión que incluye la predicción de aportaciones en el embalse, la curva de desembalses prevista para el próximo año y el estado inicial del embalse. Mediante la simulación con SIMRISK calcula las probabilidades de los diferentes riesgos y, dado el caso, se calculan también con la aplicación de medidas anticipadas. Un esquema probable de combinación de factores a analizar sería el siguiente

- Para previsiones de bajas aportaciones y situación de bajas reservas, el riesgo de déficit sería alto y se analizaría medidas anticipatorias (como las definidas en el plan especial de sequía)
- Para previsiones de altas aportaciones y situación de altas reservas, se podría deducir un riesgo de crecidas alto y se podría analizar la adopción de medidas encaminadas a mantener el embalse en un estado para permitir una laminación adecuada de las avenidas
- Para situaciones intermediarias, los riesgos son moderado y se puede actuar para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos (p. ej. producción hidroeléctrica mayor en invierno)

Predicciones de aportaciones estacionales	Reservas embalsadas al inicio del periodo simulado		
	Bajo Normal (menos reservas)	Normal	Arriba de lo Normal (más reservas)
Bajo Normal (menos aportaciones previstas)	Riesgo de Sequía	Riesgo de Sequía	
Normal	Riesgo de Sequía		Eficiencia en el uso del agua
Arriba de lo Normal (más aportaciones)		Eficiencia en el uso del agua	Inundación

Figura 2. *Uso potencial de las predicciones estacionales*

3.3 Modelización de los riesgos y medidas preventivas

Para cada año simulado, se obtiene varias informaciones indicando los riesgos en la cuenca:

- la probabilidad de estado del embalse para diferentes umbrales (determinados teniendo en cuenta las reglas de gestión de la cuenca)
- la probabilidad total de fallo en la demanda

En los siguientes desarrollos se seguirá los siguientes pasos en colaboración con los operadores de los sistemas estudiados:

- definir las medidas anticipatorias a priori más eficiente para reducir el riesgo
- probar estas medidas haciendo nuevas simulaciones y evaluar la reducción de riesgo obtenido
- valorará económicamente los riesgos (p.ej. cálculo del coste del déficit) y las medidas (p.ej. coste de implementación de una medida) para definir las reglas de implementación óptimas de las medidas anticipatorias.
- valorar la reducción de riesgo obtenido gracias a las predicciones estacionales y el beneficio económico que esto supone (teniendo en cuenta la pericia de las predicciones y las reglas de implementación definidas previamente)

5.Conclusiones

Los resultados confirman las oportunidades de usar las predicciones estacionales en la gestión de los embalses en España. Un grupo de trabajo multidisciplinar está desarrollando una metodología para la incorporación de las previsiones estacionales en la toma de decisiones. El aspecto más destacable de esta metodología es el uso acoplado de predicciones estacionales de aportaciones en los embalses con la herramienta de simulación SIMRISK para calcular las probabilidades de riesgos futuros.

Reconocimientos

Los autores agradecen la contribución de los organismos implicados en el proyecto: Aigües de Barcelona (AGBAR), la Dirección General del Agua, las Confederaciones Hidrográficas de los ríos Ebro, Tajo y Duero, y Aqualogy. Este trabajo se enmarca en el desarrollo del proyecto EUPORIAS financiado por la Unión Europea (FP7 grant agreement 308291) y coordinado por el UK Met Office).

Referencias

Andreu Alvarez, J., Solera, A., Capilla Romá, J. & S.T. Sánchez Quispe. Modelo SIMRISK de Simulación Múltiple de La Gestión de Recursos Hídricos Con Estimación Del Riesgo, Incluyendo Utilización Conjunta. Manual Del Usuario Versión 2.4. Universidad Politécnica de Valencia.

Brands y co-autores 2012. Seasonal Predictability of Wintertime Precipitation in Europe Using the Snow Advance Index. *J. Climate*, **25**, 4023–4028. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00083.1

Brown y co-autores 2010. Managing Climate Risk in Water Supply Systems, IRI Technical Report 10-15, International Research Institute for Climate and Society, Palisades, NY, 133pp. Available online at <http://iri.columbia.edu/publications/id-1048>

Cohen, J. & Jones J. 2011. A new index for more accurate winter predictions. *Geophys. Res. Lett.* **38**: L21701, doi: 10.1029/2011GL049626

Haro ,D ., Solera, A., Paredes, J., Andreu, J. 2014. Methodology for Drought Risk Assessment in Within-year Regulated Reservoir Systems. Application to the Orbigo River System (Spain) *Water Resour Manage* (2014) **28**:3801–3814

Sánchez-García, E., Voces-Aboy, J., & Rodríguez-Camino, E. 2014. Calibration and combination of seasonal forecasts over Southern Europe. Poster presented at the EUPORIAS 3rd General Assembly. 20th-22nd October 2014. Météo-France Headquarters, Toulouse, France.

Scaife, A.A., Arribas, A., Blockley, E., Brookshaw, A., Clark, R.T., Dunstone, N., Eade, R., Fereday, D., Folland, C.K., Gordon, M., Hermanson, L., Knight, J.R., Lea, D.J., MacLachlan, C., Maidens, A., Martin, M., Peterson, A.K., Smith, D., Vellinga, M., Wallace, E., Waters J. & Williams, A. 2014. Skilful Long Range Prediction of European and North American Winters. *Geophys. Res. Lett.* **41**, 2514-2519. doi: 10.1002/2014GL059637

Wilks 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences. International Geophysics Series, Vol 59, Academic Press, 464pp. ISBN-10:0127519653.