

PRESENCIA DE CAMBIOS Y TENDENCIAS EN SERIES DE CAUDALES EN CUENCAS DE ARGENTINA

Rafael Seoane^{1,2} Micaela Suriano¹ y Nicolás Tomazin¹

¹Instituto Nacional del Agua (INA).

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

E-mail: rseoane@ina.gob.ar, msuriano@ina.gob.ar, ntomazin@ina.gob.ar

Introducción

En el presente trabajo se estudia la aplicación de técnicas para identificar la presencia de puntos de cambio y tendencia, considerando dependencia temporal, en series de caudales diarios observados en cuencas de Argentina.

La presencia de puntos de cambios múltiples es frecuente en series hidrológicas. Además, nuevos trabajos muestran el efecto de la autocorrelación en la prueba no paramétrica de Pettitt (1979). La presencia de autocorrelaciones puede alterar las posibilidades de detectar cambios y tendencias.

Por esa razón se han estimado las funciones de autocorrelación, autocorrelación parcial y el exponente de Hurst para series de caudales observados en cuencas de los ríos Paraná, Neuquén y Limay (Argentina). A partir de estos resultados se analiza la presencia de cambios y tendencias con métodos paramétricos y no paramétricos, para lo cual se han estimado la dependencia de corto y largo plazo.

Los resultados obtenidos muestran la presencia de estructuras de dependencia en las series de caudales. Se demuestra la necesidad de aplicar modelos de detección de cambios que incorporen la dependencia entre las observaciones y permita estudiar la presencia simultánea de cambios y tendencias.

Marco teórico

En Hidrología, la aplicación de los modelos clásicos de valores extremos implica la aceptación de las hipótesis de independencia y estacionariedad. Para series de caudales máximos, Salas y Obeysekera (2014), revisan el concepto de periodo de retorno y del riesgo, presentando soluciones para distintos casos de no estacionariedad. Además, presentan casos que demuestran que bajo ciertas condiciones de no estacionariedad se incrementa el riesgo de falla. En la bibliografía se encuentran numerosos estudios, por ejemplo Villarini *et al.* (2009), que utilizan una combinación de métodos de detección aplicados a cincuenta series de caudales máximos, con registros extensos en los Estados Unidos.

Las pruebas no paramétricas generalmente aplicadas para identificar cambios y tendencias son: para tendencias Mann-Kendal y para cambios en la media y varianza, Pettitt (1979). Ambas pruebas requieren verificar la hipótesis de independencia. Una serie de tiempo hidrológica se define como estacionaria cuando no presenta tendencias, cambios o periodicidades. Serinaldi *et al.* (2016), muestran la influencia de la dependencia en la identificación de la presencia de cambios con la prueba de Pettitt (1979). Los resultados de estos análisis estadísticos definen las condiciones cambios y tendencias que deben representar luego los modelos de valores extremos.

La importancia de la identificación de la presencia de puntos de cambio en las series del clima fue señalada por Beaulieu *et al.* (2012), donde presentan un análisis que muestra que además de los cambios en la media y desvío, hay otros casos a considerar: puntos múltiples, tendencias, observaciones atípicas y autocorrelaciones. La presencia de estas autocorrelaciones

incorpora una mayor dificultad para la aplicación de las pruebas clásicas y en particular las modificaciones en la prueba no paramétrica de Pettitt.

Este tema es significativo cuando se trata de explorar la presencia de cambios asociados con la variabilidad climática natural. Los cambios en la media y/o varianza y la estimación de su duración definen un problema de identificación más complejo que la existencia de una tendencia.

Por ejemplo, un forzante conocido por sus efectos sobre las variables hidrológicas, la Oscilación Decadal del Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation*, PDO) presenta puntos de cambio identificables. La detección de la presencia de más de un cambio en el indicador del forzante justifica el interés de aplicar modelos de identificación de cambios múltiples en series hidrológicas.

Killick y Eckley (2014) desarrollaron un método para estimar la presencia de puntos múltiples de cambio y detectar las modificaciones en la media, la varianza y la tendencia. Este método puede ser aplicado a series temporales. Considera una familia de doce modelos y realiza una selección automática.

Metodología

Para identificar la presencia de cambios en el tiempo en distintas series hidrológicas se aplica una metodología que incluye las siguientes etapas: 1) selección de cuencas con series de caudales extensas y con escaso impacto de la infraestructura hidráulica sobre el escurrimiento; 2) estimación de las series anuales de caudales asociados con diferentes percentiles. Las series se construyen estimando los percentiles (5, 20, 50, 90 %) de los caudales medios diarios para cada año. De esta forma se puede estudiar los cambios en distintas partes de la curva de duración; 3) estimación de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial para las series seleccionadas en la etapa anterior y 4) aplicación de un algoritmo de detección automática para realizar la identificación del modelo considerando distintas formas de cambio en la modelación bajo autocorrelación.

Datos

Se han seleccionado series de caudales observados en distintos ríos de la cuenca del Paraná y los ríos Limay y Neuquén, en particular las series de los ríos Bermejo (Pozo Sarmiento), Pilcomayo (La Paz), Paraguay (Puerto Bermejo). En las cuencas de los ríos Neuquén y Limay se han seleccionado los datos observados en Paso de los Indios y Paso Limay. La información fue obtenida de la Base de Datos Hidrológica Integrada (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) y la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC).

Resultados

En este párrafo se presentan resultados obtenidos con las funciones de autocorrelación (Fac) y de autocorrelación parcial (Facp) para los dos primeros retardos de una serie temporal

seleccionada entre los casos bajo estudio. Se han incluido los valores de P_{50} que representa el caudal asociado al percentil 50 (mediana) y el caudal máximo anual; ver la Tabla 1. Un resultado importante es la presencia de autocorrelaciones significativas en las series estudiadas.

Tabla 1.- Coeficientes de autocorrelación y autocorrelación parcial para las series: percentiles 90, 50, 20 y caudal máximo (QMA). En negrita se indican los valores significativos para un intervalo de confianza ± 0.226 .

Río	Autocorrelación (FAC)		P ₉₀	P ₅₀	P ₂₀	QMA
	y Parcial (FACP)					
Bermejo, Pozo Sarmiento (1940- 2014)	FAC	1	0.327	0.392	0.444	0.269
		2	0.234	0.430	0.455	-0.051
	FACP	1	0.327	0.392	0.444	0.270
		2	0.142	0.327	0.321	-0.134

La metodología, Killick *et al.* (2012) y Killick y Eckley (2014), permitió identificar combinaciones de cambio y tendencia que ocurren en series hidrológicas. Como un ejemplo del estudio completo realizado se presenta un análisis de los caudales máximos observados en el río Bermejo (Pozo Sarmiento). En este caso se detectó la presencia de un cambio y un modelo AR(2). En otras series estudiadas de máximos se identificaron otras combinaciones con cambio y tendencia.

El resultado muestra la posibilidad de detectar la presencia de un cambio en la media y bajo autocorrelación. La Figura 1 presenta el resultado que identifica como punto de cambio el año 1972. Las medias muestrales de los dos periodos son: 3102 m³/s (1940-1971) y 5288 m³/s (1972-2014). La identificación realizada con la prueba de Pettitt detecta el mismo punto.

La autocorrelación puede provenir de la diferencia de medias entre las dos partes de la serie temporal. Se realizó un experimento numérico que consistió en restar las medias de cada periodo y ajustar los residuos con modelos AR. El resultado muestra que la presencia de la autocorrelación de la serie de los residuos se pueden modelar con AR(2). Por lo tanto la estructura de dependencia de la serie no tiene su origen en los cambios en las medias sino en la propia característica de la serie.

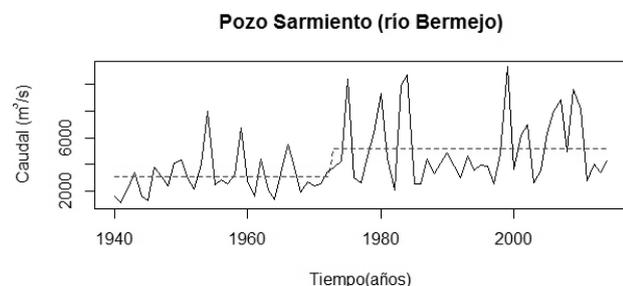


Figura 1.- Diferencias en la media para caudales máximos anuales en Pozo Sarmiento (río Bermejo).

Para medir la persistencia de largo plazo, dependencia entre observaciones muy alejadas, se estimó el exponente de Hurst (1951). En el río Bermejo, serie de los caudales máximos, el exponente (método R/S) es: 0.80807 (DE 0.07733) y por lo tanto, influirá sobre las estimación de la tendencia, mostrando la

necesidad de una corrección por su influencia. Estos resultados son semejantes a los obtenidos en otras series estudiadas.

Conclusiones

La presencia de autocorrelación implica la necesidad de aplicar métodos de detección que incorporen esta propiedad dado que esta podría conducir a una incorrecta especificación de los modelos que se aplicarán en el diseño en Ingeniería. Serinaldi y Kilsby (2016).

Este estudio muestra que la autocorrelación es significativa no solamente en los caudales mínimos, ya existen antecedentes, sino en otras partes del hidrograma como son los caudales máximos.

En las series bajo estudio se estimó el exponente de Hurst (1951) para mejorar la caracterización de las series hidrológicas y evaluar la presencia de persistencia de largo plazo, que también afecta la detección de la presencia de una tendencia.

Beaulieu *et al.* (2012) han demostrado que el cambio en la estructura de la serie puede incluir formas combinadas (media y tendencia) y mostraron la posibilidad de su detección en series climáticas. Por lo tanto, es necesario contar con un método que permita identificar estas situaciones, que se pueden presentar en series hidrológicas asociadas a variables climáticas.

Este tipo de métodos aplicados en las variables hidrológicas pueden detectar cambios y tendencias que demuestren la necesidad de utilizar modelos de extremos más completos. Para estos modelos se debe especificar con precisión la forma de los cambios y tendencias en las series temporales bajo estudio.

En Argentina, existen obras hidráulicas cuyos parámetros hidrológicos fueron estimados con métodos clásicos que no consideran la autocorrelación. En esa etapa de la Ingeniería, era menos conocida la significación de la variabilidad climática natural sobre las propiedades estadísticas del escurrimiento y los efectos de la presencia de autocorrelación.

Referencias

- Beaulieu, C., Chen, J. and J. Sarmiento, (2012). "Change-point analysis as a tool to detect abrupt climate variations". *Phil. Trans. R. Soc. A* 370, 1228-1249.
- Hurst, H., (1951). "Long term storage capacities of reservoirs". *Trans. Am. Soc. Civil Engrs.*, 116, 776-808.
- Pettitt, A.N., (1979). "A Non parametric approach to the change -point problem". *Journal of the Statistical Society, Serie C*, 28, 2, 126-135.
- Killick, R., Fearnhead P, I.A. Eckley (2012). "PELT Algorithm: Optimal detection of changepoints with a linear computational cost", *JASA* 107(500), 1590-1598.
- Killick, R. and I. A. Eckley, (2014). "Change point: An R Package for change point analysis". *Journal of Statistical Software*. Volume 58, Issue 3.1-19.
- Salas, J. D., and J. Obeysekera, (2014). "Revisiting the Concepts of Return Period and Risk for Nonstationary Hydrologic Extreme Events. *J. Hydrol. Eng.*, 19(3), 554-568.
- Serinaldi, F. and C.G. Kilsby, (2016). "The importance of prewhitening in change point analysis under persistence". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 30, 763-777.
- Villarini, G., F. Serinaldi, J. A. Smith and W. F. Krajewski, (2009). "On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century". *Water Resour. Res.*, 45, W08417, doi: 10.1029/2008WR00764.