

ESTIMACIÓN DE LA ASOCIACIÓN ENTRE INDICADORES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA NATURAL Y CAUDALES DEL RÍO PARAGUAY A TRAVÉS DE WAVELET

Suriano, Micaela^{1,2}

¹Instituto Nacional del Agua (INA), ²Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires (FIUBA).
E-mail: suriano.micaela@gmail.com

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la asociación en el espacio tiempo-frecuencia de dos indicadores de la variabilidad climática natural sobre la serie de caudales mensuales en el río Paraguay, en la estación Puerto Pilcomayo.

Existen estudios que muestran la influencia del fenómeno de El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) para Sudamérica y la Argentina. Sin embargo, resulta importante mejorar el conocimiento de su relación con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) ya que esta responde definiendo propiedades estadísticas de largo plazo, que podrían influir en la planificación del recurso hídrico.

La técnica de la transformada de Wavelet permite identificar diferentes frecuencias características de variabilidad temporal y su ubicación, en particular en series no estacionarias. Además, aplicando Coherencia Wavelet se pueden analizar las frecuencias conjuntas entre dos series.

Estos resultados permiten aumentar el conocimiento de la influencia de la variabilidad climática natural sobre los caudales, lo cual podría resultar útil para lograr una mejor planificación del recurso hídrico, pudiendo incorporar esta información tanto para el diseño de obras civiles como para fines de pronóstico.

Marco teórico

Los procesos hidrológicos no son independientes de los procesos climáticos. Desde los años 80 se ha avanzado significativamente en la comprensión de la relación entre los indicadores de la variabilidad climática natural y distintas variables, como por ejemplo las hidrológicas.

Las variaciones climáticas de corto plazo, con un período en el orden de 4 a 7 años, están asociadas con la actividad de El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) en sus fases: El Niño y La Niña, en cambio la variación del clima multidecadal sigue un patrón mejor expresado por la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), un fenómeno del Norte del Océano Pacífico que oscila en una escala de décadas, entre 30 y 50 años, para el total del ciclo. (Mantua y Hare, 2002; Mantua *et al.* 1997).

Estos indicadores climáticos impactan en los caudales de los ríos de distintas regiones. Hay trabajos que muestran que se observa un comportamiento diferente en los caudales según la combinación ENOS y PDO, para la cual los efectos se potencian cuando ambos indicadores están en fase y se disipan cuando no. (Neal *et al.*, 2002; Kayano y Andreoli, 2007; Silva *et al.*, 2011; Ouyang *et al.*, 2014).

Siguiendo la metodología propuesta por Ouyang (2014), Suriano y Seoane (2016) encontraron que en el río Paraguay, en la estación Puerto Pilcomayo (Argentina) los caudales promedio trimestrales aumentan en la mayoría de los casos cuando coincide con PDO en fase Positiva con El Niño, y tienden a disminuir en PDO en fase Negativa y La Niña.

En este trabajo se propone continuar esa línea de investigación a través de técnicas avanzadas en el análisis de series temporales que permita identificar mejor en el tiempo esta relación entre variables climáticas y caudales en el río Paraguay.

El análisis de Wavelet se transformó en una herramienta muy utilizada para analizar variaciones locales de potencia en series de tiempo. Al descomponer la serie de tiempo en espacio tiempo-frecuencia es posible determinar a la vez los modos dominantes de la variabilidad y cómo esos modos varían en el tiempo (Torrence y Compo 1997).

La transformada de Wavelet cruzada y la coherencia pueden aplicarse para examinar las relaciones en el espacio de tiempo-frecuencia entre dos series, siendo muy útil para analizar en series geofísicas. Este análisis muestra las regiones con alta potencia en común y además revela información sobre la relación de fase (Grinsted *et al.* 2004, Labat *et al.* 2005).

Metodología

La transformada de Wavelet puede ser usada para analizar series de tiempo no estacionarias en distintas frecuencias. Para una serie de tiempo x_n , con igual separación en el tiempo δt y $n=0\dots N-1$. Además se asume una función de Wavelet $\Psi_0(\eta)$ que depende de un parámetro “tiempo” adimensional η . Esta función debe cumplir tener media cero y poder ser localizada tanto en tiempo como en frecuencia. En general, y en este caso, se utiliza la función de Wavelet llamada Morlet que consiste en una onda plana modulada por una función Gaussiana:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad [1]$$

donde ω_0 es la frecuencia adimensional.

La transformada de Wavelet continua de una serie discreta x_n se define como la convolución de x_n con una versión de $\Psi_0(\eta)$ escalada y trasladada:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^* \left[\frac{(n'-n)\delta t}{s} \right], \quad [2]$$

donde (*) indica el conjugado complejo. Al variar la escala de s y trasladarla a través del índice temporal n , se puede construir una imagen que muestre la amplitud versus a escala y cómo esa amplitud varía en el tiempo. Se define el espectro de potencia Wavelet como $|W_n(s)|^2$. Dadas dos series de tiempo X e Y , y sus respectivas transformadas Wavelet $W_n^X(s)$ y $W_n^Y(s)$ se define el espectro Wavelet cruzado como $W^{XY}_n(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s)$, donde $W_n^{Y*}(s)$ es el conjugado complejo de $W_n^Y(s)$. Se define la potencia cruzada Wavelet como $|W^{XY}_n(s)|$. Otro indicador útil resulta la Coherencia Wavelet, que se define como el cuadrado del espectro cruzado normalizado por los espectros individuales. Este mide la correlación cruzada como función de la frecuencia, variando entre 0 y 1. Para los cálculos se utiliza el paquete “WaveletComp” del software estadístico R (Roesch y Schmidbauer, 2018).

Datos

Se analiza la serie temporal de los caudales mensuales del río Paraguay en la estación Puerto Pilcomayo, para el período 1910-2017. La serie está constituida con datos obtenidos de la

Red Hidrológica Nacional y caudales entrantes al embalse de Yacyretá aportados por la Entidad Binacional Yacyretá al Sistema de Información y Alerta Hidrológico del Instituto Nacional del Agua (SIYAH-INA). Se utilizan los datos mensuales de ENOS en la región Niño 3.4, obtenidos de la NOAA: *National Oceanic and Atmospheric Administration (U.S. Department of Commerce)* y los datos mensuales del índice PDO son obtenidos del JISAO (*Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean*), Washington.

Resultados

A continuación las Figuras 1 y 2 muestran los resultados obtenidos de aplicar Coherencia Wavelet. En ambas figuras el panel superior muestra en escala de grises la potencia y en línea blanca las zonas significativas (nivel de significación igual a 0.1) y en el panel inferior muestra la potencia promedio a lo largo del período.

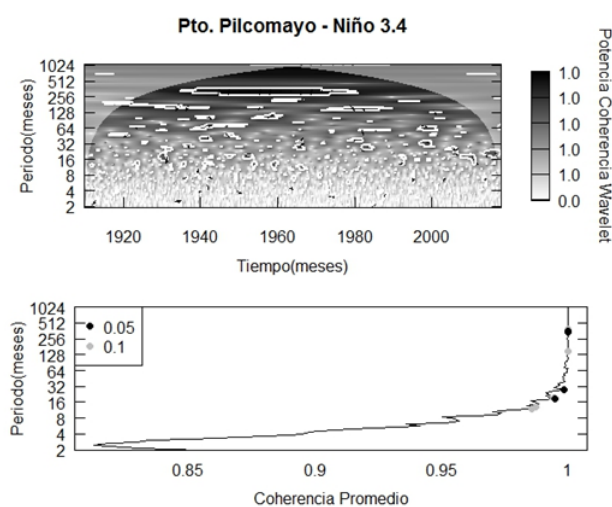


Figura 1.- Coherencia Wavelet entre el río Paraguay y el Niño 3.4.

Se puede observar en el panel superior de la Figura 1 que aparecen regiones significativas con correlaciones cercanas a 1 aproximadamente entre 4 y 8 años de forma intermitente, en algunos casos se pueden identificar con años Niño Fuerte según el índice ONI (*Oceanic Niño Index*), por ejemplo el del año 1957/1958, 1982/1983 y 1997/1998. Se identifican regiones continuas significativas del orden de 20 años que puede deberse algún fenómeno de menor frecuencia que esté modulando los procesos. En particular se observa entre el año 1940 y 1980, coincidiendo aproximadamente con un período frío del índice PDO.

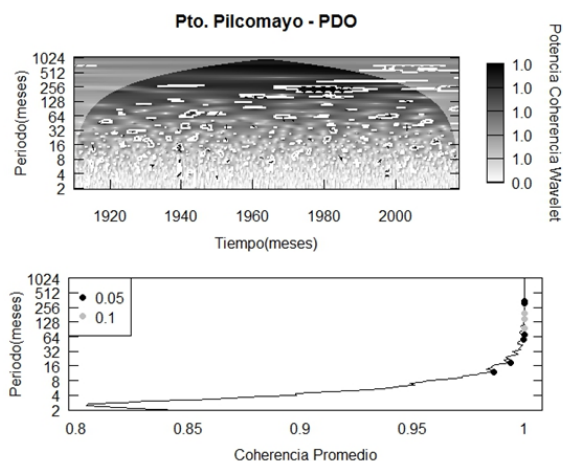


Figura 2.- Coherencia Wavelet entre el río Paraguay y PDO.

En el panel superior de la Figura 2 también se identifican regiones significativas de correlaciones cercanas a 1 para períodos entre 15 y 40 años aproximadamente, en particular de forma continua una zona comienza en el año 1970 y continúa hasta los años 1990.

En los paneles inferiores de las Figuras 1 y 2 donde se grafican las potencias en promedio, se obtienen altas correlaciones para la mayoría de los períodos superiores a 4 años y encontrando puntos significativos en el orden de 3 a 7 años y luego en 20 años, tanto para Niño 3.4 como para PDO.

Conclusiones

Los resultados muestran que no hay una clara identificación con el fenómeno del Niño en el periodo completo (coincidiendo con los resultados encontrados por Labat *et al.* 2005 para el río Paraná) ya que aparecen correlaciones significativas de forma intermitente. Tanto para Niño 3.4 como para PDO se encuentran correlaciones en períodos decadales y multidecadales, poniendo en evidencia la influencia de fenómenos de largo plazo en los caudales del río Paraguay.

Estos resultados permiten mejorar el conocimiento acerca de la vinculación de la variabilidad climática natural con los caudales, incorporando información que resulta útil para adecuar la planificación del recurso hídrico, el diseño de obras y la implementación de pronósticos en un contexto de cambios en el clima.

Referencias

- Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear processes in geophysics*, 11(5/6), 561-566.
- Kayano M.T. and Andreoli R.V. (2007). "Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation". *International Journal of Climatology*, 27: 531-540.
- Labat, D., Ronchail, J. & Guyot, J. L., (2005). Recent advances in wavelet analyses: Part 2—Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability.. *Journal of Hydrology*, 314(1), pp. 289-311
- Mantua N. J., Hare S.R., Zhang, Y., Wallace J.M and Francis R. C. (1997) "A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:1069-1079.
- Mantua N. J. and Hare S.R. (2002) "The Pacific Decadal Oscillation" *Journal of Oceanography*, Vol. 58, 35-44.
- Neal E. G., Todd Walter M. and Coffeen C. (2002) "Linking the pacific decadal oscillation to seasonal stream discharge patterns in Southeast Alaska" *Journal of Hydrology*, Vol. 263, 188 - 197.
- Ouyang R., Liu W., Fu G., Liu C., Hu L., and Wang H. (2014) "Linkages between ENSO/PDO signals and precipitation, streamflow in China during the last 100 years". *Hydrology and Earth System Science*, 18, 3651-3661.
- Roesch A. and Schmidbauer H. (2018). WaveletComp: Computational Wavelet Analysis. R package version 1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=WaveletComp>
- Silva G. A. M., Drumond A. and Ambrizzi T. (2011) "The impact of El Niño on South American summer climate during different phases of the Pacific Decadal Oscillation". *Theoretical and Applied Climatology* 06:307-319.
- Suriano, M. y Seoane R. (2016) - "Evaluación del impacto del ENSO y del PDO en ríos de Argentina"- *XXVII Congreso Latinoamericano De Hidráulica*. Lima, Perú.
- Torrence C., and Compo G.P., (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79 (1), 61-78.