

# **Hidrología de los Andes Subtropicales de Sudamérica y la variabilidad solar**

**Rosa Hilda Compagnucci <sup>(1)</sup> Victor Manuel Velasco Herrera <sup>(2)</sup> José Armando Boninsegna <sup>(3)</sup>**

**(1) UBA-FCEN-Depto. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos / CONICET, Buenos Aires, Argentina, rhc@at.fcen.uba.ar (2) Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, Mexico, vmv@geofisica.unam.mx (3) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CONICET, Mendoza, Argentina, pbonin@lab.cricyt.edu.ar.**

La precipitación en Santiago de Chile (Santiago-PP) es representativa de la precipitación en Chile Central, de la cantidad de nieve que cae en la Cordillera de los Andes Subtropicales [1] del balance de los glaciares [2], e indicadora de fluctuaciones en los caudales de los ríos Andinos [3]. Estudios previos muestran la importante influencia del ENSO (EL Niño/Oscilación Sur) en la circulación atmosférica de latitudes medias del Hemisferio Sur, relacionada tanto en Santiago-PP como con los caudales de los ríos Andinos [1,3,4,5,6]. A su vez, la relación entre el ENSO y la variabilidad solar fue postulada por diversos autores [7,8,9]. Considerando estos antecedentes, en el presente trabajo se presentan nuevos análisis sobre la posible influencia de las variaciones de la actividad solar sobre Santiago-PP.

Desde 1866 existen registros instrumentales continuos de la precipitación mensual en Santiago. A fin de extender la serie y poder capturar variaciones del orden de décadas a centurias se utilizó la serie de precipitación reconstruida mediante anchos de anillos de árboles para el período 1280 a 1999 [2]. Para analizar el posible impacto de las variaciones de la actividad solar sobre Santiago-PP, tanto la serie instrumental como la reconstruida se compararon con la serie de manchas solares histórica (1700-2000) y la serie de Be10 del último milenio, “proxy” dato de la actividad solar.

Las variaciones locales de la potencia en múltiples bandas, de estas series no estacionarias, se analizaron mediante la transformada de wavelet (ondeletas). La covarianza en bandas de frecuencia entre la serie de Santiago-PP y la de manchas solares se estimó mediante el método de cross wavelet [10].

La serie histórica de Santiago-PP exhibe variabilidad significativa en bandas que pueden ser asociadas al ENSO de 2 y 3,5 años con un máximo en 7 años. También están presentes las oscilaciones en 11 años y 22 años que son típicas de los ciclos de Schwabe y Hale de la variabilidad solar. En la serie reconstruida de Santiago-PP, la periodicidad de 22 años se presenta como un gran máximo entre 16 a 32 años correspondiente al ciclo de Hale y a la oscilación de 30 años previamente encontrada en la serie de isótopos cosmogénicos [11]. En las más bajas frecuencias son significativas las periodicidades entre 64 - 128 años y la de 170 – 204 años que corresponden al ciclo solar de Gleissberg y Suess respectivamente.

Las bandas para períodos menores que 16 años en el estudio de co-variabilidad entre precipitación y variación solar utilizando Be10 quedan sin resolver adecuadamente debido al suavizado forzado por la espaciada información de esta última serie. Por ello para el análisis de la relación con la variación solar, de la banda de 8-16 años de la serie de Santiago-PP, se utilizó la serie de manchas solares. Las bandas filtradas mediante wavelets, de ambas series, muestran una relación con cambios de fase a través los últimos 300 años lo que implica que la relación resulta significativa directa, inversa o sin significado dependiendo del período considerado.

A su vez, los espectros de cross wavelet y de acoplamiento entre la serie de Santiago-PP reconstruida y la de Be10 son utilizados para analizar la relación en las bajas frecuencias. Los espectros muestran otras bandas relevantes cercanas al ciclo de Gleissberg (~ 90 años), en ~ 120 años y próximas al ciclo de Viers (~ 170 años), similares a las encontradas en los

isótopos cosmogénicos [12,13]. Para la banda de 16 a 32 años se alternan períodos en fase con otros de antifase separados por una breve transición. El cambio en frecuencia y amplitud de la serie de Santiago-PP para la banda de 80-120 años hace que la relación con la variabilidad solar sea importante sólo entre los años 1500 a 1900 y con fase directa en el siglo XVI e inversa en el siglo XIX. La menor frecuencia que muestra una significativa e importante relación entre ambos fenómenos pertenece a la banda entre 170 y 205 años correspondiente al ciclo de Suess. La relación es estable y directa para los últimos 700 años mostrando sólo un pequeño desfase desde comienzos del registro en que la señal solar precede a Santiago-PP cambiando a fines del registro en que es la precipitación la que precede a la señal solar.

Estos resultados muestran que la relación entre Santiago-PP y la irradiancia solar que parecería ocurrir en una amplia gama de frecuencias propias de la variabilidad solar, es compleja. Podrían postularse varias conclusiones una de ellas es que existe relación causal por la cual la variabilidad solar afecta indirectamente la precipitación en Santiago de Chile mediante cambios en la circulación atmosférica y por eso resulta altamente no-lineal invirtiéndose en algunos períodos y desapareciendo en otros. Por otra parte, podría tratarse de dos fenómenos que poseen oscilaciones similares pero que carecen de relación causal, con lo cual los pronósticos de largo plazo de los caudales basados en su relación con la variabilidad solar [14] podrían tener poco sustento.

#### Referencias:

- [1] Montecinos A., Aceituno P., 2003: Seasonality of the ENSO related rainfall variability in central Chile and associated circulation anomalies. *J. Climate*, 16, 281–296.
- [2] Le Quesne, Acuña, Boninsegna, Rivera and Barichivich 2009. Long-term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-ring reconstructed precipitation. *PALEO*, 281:334–344.
- [3] Compagnucci R.H., Vargas W., 1998. Interannual variability of Cuyo rivers streamflow in Argentinean Andean mountains and ENSO events. *Int. J. of Clim*, 18:15-1609
- [4] Compagnucci R.H., Araneo D., 2007. Alcances de El Niño como predictor de el caudal de los ríos andinos argentinos, *Ing. Hidraulica en Mexico*, 22 (3), 23-35.
- [5] Compagnucci R.H., 2000. “ENSO events impact on hydrological system in the Cordillera de los Andes during the last 450 years” .En el libro: “*Southern Hemisphere Paleo-and Neoclimates: Methods and Concepts*” Eds. Volkheimer W. and P. Smolka. Editorial Springer Verlag 175-185.
- [6] Araneo, D.C., Compagnucci, R.H., 2008. Atmospheric circulation features associated to Argentinean Andean rivers discharge variability, *Geophys. Res. Lett.* , 35(1): L01805, doi:10.1029/2007GL032427
- [7] Mann, M. E., Cane M. A., Zebiak S. E., Clement A., 2005. Volcanic and solar forcing of the tropical Pacific over the past 1000 years. *J. Climate*, 18, 447–456.
- [8] Meehl, G. A., Arblaster J. M., Branstator G., van Loon H., 2008. A coupled air–sea response mechanism to solar forcing in the Pacific region. *J. Climate*, 21, 2883–2897.
- [9] van Loon, H., Meehl G.A., 2008. The response in the Pacific to the sun’s decadal peaks and contrasts to cold events in the Southern Oscillation. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 70, 1046–1055.
- [10] Torrence, Webster, 1999. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. *J. Clim*, 12:2679-2690.
- [11] Pérez-Peraza, Velasco 2008. The 30-yr Cycle of Cosmic Rays, 37th COSPAR, 2394.
- [12] Velasco, Mendoza, Valdés-Galicia, 2007. The 120-yr solar cycle of the Cosmogenic Isotopes. Proc. 30th Int. Cosmic Ray Conference. 1:553–556
- [13] Velasco, Mendoza, 2008. Assessing the relationship between solar activity and some large-scale climatic phenomena. *Advances in Space Research*, 42:866–878.
- [14] Mauas, Buccino, Flamenco, 2011. Long-term solar activity influences on South American rivers, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73 (2-3) 377-382