

VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CIUDAD DE LA PLATA DURANTE EL PERÍODO 1909-2007: TENDENCIAS Y FLUCTUACIONES CUASIPERIODICAS

Pablo L. Antico*[#] y Nora C. Sabbione*

***Depto. de Sismología e Información Meteorológica, Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata**

**#Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
pantico@fcaglp.unlp.edu.ar**

Resumen

La variabilidad de la serie temporal de totales mensuales de precipitación de la estación meteorológica La Plata Observatorio es analizada mediante la técnica conocida como SSA (del inglés, Singular Spectrum Analysis) durante el período 1909-2007. Los resultados muestran oscilaciones con períodos dominantes de 4–5 años y otra menor de ~3 años. También se detecta una tendencia creciente que se acentúa durante la segunda mitad del período. Existen también oscilaciones con períodos de 7–8 años, aunque no resultan estadísticamente significativas.

El análisis de las series de precipitación por semestres y trimestres muestra que las oscilaciones de 3–5 años aún persisten durante todo el año. En cambio, la tendencia corresponde solamente al semestre cálido.

Se calculan coeficientes de correlación lineal entre las series de precipitación y las del Índice de la Oscilación del Sur (SOI). En particular, los resultados indican que, durante los eventos El Niño (La Niña) la precipitación tiende a ser mayor (menor) que el promedio durante octubre–marzo. La relación mejor definida ocurre entre los totales de octubre–diciembre y el valor del SOI durante julio–septiembre del mismo año.

Abstract

The variability of the time series of monthly precipitation totals of La Plata Observatorio is analyzed for the period 1909–2007. The analysis is performed with a technique known as Singular Spectrum Analysis (SSA). Results show oscillations with a dominant 4–5-year period and another one with ~3-year period. An increasing trend is also detected, particularly during the second half of the analyzed period. There are also oscillations with 7–8-year period, although they are not statistically significant.

Analyses of seasonal and half-year precipitation series also exhibits oscillations with a 3–5-year dominant period. On the other hand, the trend only persists during the warmer season.

Linear correlation coefficients are computed between precipitation and Southern Oscillation Index (SOI) series. In particular, results suggest that precipitation tends to be higher (lower) than average during October–March after the onset of El Niño (La Niña). The most robust correlation occurs between October–December precipitation totals and the previous July–

September SOI average.

Datos

Los datos de precipitación consisten en totales mensuales calculados a partir de registros pluviométricos diarios de la estación meteorológica La Plata Observatorio durante el período 1909–2007.

En la segunda parte del trabajo se relaciona la precipitación con el estado del fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur. Para ello, además de las series de totales mensuales de precipitación, se utilizan series mensuales del Índice de la Oscilación del Sur (SOI, del inglés Southern Oscillation Index) también para el período 1909–2007.

Metodología

El SSA (del inglés, Singular–Spectrum Analysis) consiste en un análisis espectral aplicado a series temporales que permite descomponer a la misma en oscilaciones y tendencias. El objetivo es detectar señales sobre la base de un espectro dominado por el ruido, tal como suele ocurrir con las series de datos meteorológicos. El método se basa en la construcción de componentes principales pero en la dimensión temporal en lugar de la espacial (Vautard and Ghil, 1989). Para aplicar el SSA se utilizó un conjunto de programas de libre acceso descriptos por Ghil y otros (2002), denominado “SSA Toolkit”.

A partir de los T-EOFs es posible reconstruir la serie de tiempo original $x(t)$ de longitud N según la técnica descrita por Vautard y otros (1992), mediante series de tiempo también de longitud N denominadas componentes reconstruidas (RCs). Éstas poseen la importante propiedad de conservar la fase de la serie original lo cual permite la superposición con esta última.

Para optimizar la relación señal-ruido, basta considerar un número apropiado de componentes reconstruidas $S < M$. En este trabajo, para determinar el número apropiado S se utilizó la técnica descrita por Allen y Smith (1996) basada en las aproximaciones de Monte-Carlo, utilizando 1000 realizaciones y tomando la hipótesis nula de ruido blanco. De esa manera se logran aislar pares de RCs que representan oscilaciones con pseudo-períodos y tendencias con respecto a aquellas que solo forman parte del ruido de la serie (Vautard y otros, 1992).

Discusión de resultados

SSA aplicado a las series de precipitación

En la serie de precipitación anual el SSA detecta una oscilación significativa con un período entre 4 y 5 años con más del 15% de la varianza (Tabla I). Aunque sin significancia, el método también detecta una tendencia y una oscilación de 7–8 años. A fin de potenciar la señal en la escala de tiempo interanual, se reconstruye la serie de precipitación anual utilizando las RCs del SSA con $M = 25$, pero excluyendo las componentes asociadas con la tendencia y la oscilación de 7–8 años. La serie residual reconstruida es sometida nuevamente al SSA pero en este caso se utiliza una ventana espectral $M = 10$. Se observa que la serie residual sigue estando dominada por una oscilación de 4–5 años, que explica más del 24% de la varianza. Los resultados también muestran una oscilación de aproximadamente 3 años aunque no es significativa. En la reconstrucción parcial con las RCs[3 4 5 16] (Fig. 1), se observa el incremento de la tendencia a principios de los años '50. En la Figura 2, se muestra

la serie residual reconstruida únicamente con los RC's[1 2] con período dominante de 2–3 años y la serie original reconstruida sin la tendencia.

Teniendo en cuenta el régimen anual de la precipitación (Antico y Sabbione, 2005), a partir de la serie de totales mensuales se construyen series de precipitación semestral para octubre–marzo (semestre cálido) y abril–septiembre (semestre frío). La precipitación del semestre cálido está dominada por una tendencia significativa (Tabla I), que se acentúa a partir de los años '50s (no se muestra). En segundo lugar, el SSA detecta una oscilación también significativa, con un período dominante de ~ 4 años. En este caso la serie residual consiste en la reconstrucción excluyendo a las RCs[1 10]. El resultado del SSA aplicado a esta última con $M = 10$ fortalece a la oscilación de 4 años.

Durante el semestre frío, el SSA no detecta tendencia alguna. La única oscilación significativa explica poco más del 10% de la varianza y tiene un período dominante de ~3 años.

Durante enero–marzo, la precipitación está dominada por una tendencia creciente que explica poco más del 8% de la varianza total (Tabla II). La oscilación de 9 años, no posee significancia estadística y representa tan solo el 1% de la varianza. Al aplicar el SSA con $M = 10$ años a la serie residual (todas las RCs menos RC[1]) surge una oscilación dominante con período ~3 años, y otra también significativa con un período de 6 años. En el caso de la precipitación de octubre–diciembre, se muestran los resultados del SSA con $M = 25$ debido a las mayores significancias estadísticas para este caso. La tendencia aún persiste en esta época del año, explicando cerca del 8% de la varianza, aunque no posee significancia. En cambio, la oscilación de ~4 años además de ser significativa explica más del 12% de la varianza. Existe también un par oscilatorio con un período dominante de casi 8 años con el 7,7% de la varianza total de la serie. Se construye de todas formas la serie residual para octubre–diciembre, restando a la serie original las RCs[3 4 5 8]. La oscilación de 4 años pasa a dominar el espectro con más del 19% de la varianza total explicada.

Los trimestres comprendidos en el semestre frío se caracterizan por no presentar tendencia alguna. En abril–junio, la precipitación está afectada por una oscilación de ~3 años y también por otra de 7–8 años. Durante julio–septiembre, persiste una oscilación de 4–5 años con significancia y más del 15% de la varianza.

Relación con el ENOS

El fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) se manifiesta con una periodicidad que oscila entre 2 y 5 años. Los resultados obtenidos en nuestro estudio indican la existencia de una periodicidad similar en la serie de anomalías de precipitación. Entonces, es probable que la variabilidad de la precipitación en La Plata en esta escala de tiempo responda a la variabilidad del ENOS. Para determinar el carácter de la relación subyacente, se calculan índices de correlación lineal entre las series reconstruidas de las anomalías de precipitación y las correspondientes series del SOI. Previamente, a cada una de las series de tiempo se les sustrajo la tendencia, lineal para las series del SOI, y no lineal (obtenida mediante el SSA) para las series de precipitación. Los resultados se presentan en la Tabla III.

En todos los casos donde existe una correlación lineal con significancia estadística, se trata de valores negativos. Por consiguiente, la ocurrencia de anomalías positivas (negativas) de la precipitación en La Plata están asociadas con valores negativos (positivos) del SOI, es decir con condiciones de El Niño (La Niña) en el Océano Pacífico tropical. De hecho, la serie completa de precipitación anual presenta una correlación de $-0,31$ con la correspondiente serie anual del SOI. El análisis por semestres muestra que las correlaciones más robustas se

dan entre los valores del SOI del semestre frío y la precipitación tanto del semestre frío como del semestre cálido subsiguiente. Por otro lado, la correlación entre ambas variables exclusivamente durante el semestre frío es nula.

En la parte inferior de la tabla se analizan las correlaciones por trimestre. Para cada serie de precipitación se calculan dos índices de correlación: uno con la serie del SOI correspondiente, y otro con la del trimestre anterior, excepto para octubre–diciembre. El único trimestre que no presenta correlación alguna es enero–marzo. En el caso de abril–junio y julio–septiembre, la correlación significativa se da entre la precipitación y el SOI del mismo trimestre. En cambio, durante octubre–diciembre la precipitación muestra valores significativos de correlación con las series del SOI, aún considerando los dos trimestres previos, es decir julio–septiembre y abril–junio.

Referencias

Allen M. R., Smith L. A. (1996) Monte Carlo SSA: Detecting irregular oscillations in the presence of coloured noise. *J. Clim.* 9, 3373-3404

Antico P., y N. Sabbione. 2005. Comportamiento de la precipitación en La Plata durante el período 1938-2001. *Geoacta* 30, 13-25

Ghil M., R. M. Allen, M. D. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, M. E. Mann, A. Robertson, A. Saunders, Y. Tian, F. Varadi, and P. Yiou, (2002). "Advanced spectral methods for climatic time series," *Rev. Geophys.*,40(1), pp. 3.1-3.41, 10.1029/2000GR000092

Vautard R., Ghil M. (1989) Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series. *Physica D*35, 395-424

Vautard R., Yiou P., Ghil M. (1992) Singular spectrum analysis: a toolkit for short noisy chaotic signals. *Physica D* 58, 95-126

Tabla I Modos dominantes de oscilación detectados por el SSA con M = 25 años en las series de precipitación anual (ene–dic) y semestral (oct–mar y abr–sep) de La Plata Observatorio durante el período 1909-2007. En negritas se indican los componentes con niveles de significancia del 95% o mayores.

Totales de precipitación	Componentes con oscilaciones	Tendencia o Período dominante (años)	Varianza explicada (porcentaje)
anual	3 5 16	Tendencia	7,8
	1 2	4,5	15,7
	4 5	6,8 y 8,3	3,0
octubre–marzo	1 10	Tendencia	16,1
	2 3	4,2	10,1
	4 5	3,4	10,9
abr–septiembre	1 2	2,7	11,3

Tabla I (cont.) Modos dominantes de oscilación detectados por el SSA con M = 10 en las

serie residuales de precipitación anual y semestrales de La Plata Observatorio durante el período 1909-2007

anual	1 2 3 4	4,4 2,7	24,4 10,5
octubre-marzo	1 2 6 7	4,2 2,6	22,2 6,7

Tabla II Modos dominantes de oscilación detectados por el SSA con $M = 20$ años en las series de precipitación trimestral (ene-mar, abr-jun, jul-sep y oct-dic) de La Plata Observatorio durante el período 1909-2007. En negritas se indican los componentes con niveles de significancia del 95% o mayores.

Totales de precipitación	Componentes con oscilaciones	Tendencia o Período dominante (años)	Varianza explicada (porcentaje)
enero-marzo	1 19 20	Tendencia 9,0	8,4 1,0
octubre-diciembre*	1 2 3 8 4 5	4,3 Tendencia 8,2	12,2 8,7 7,7
abril-junio	1 2 3 4	2,6 8,1 y 6,9	19,2 9,8
julio-septiembre	1 2	4,5	15,8

Tabla II (cont.) Modos dominantes de oscilación detectados por el SSA con $M = 10$ en las series residuales de precipitación trimestral de La Plata Observatorio durante el período 1909-2007.

enero-marzo	1 2 5 7	2,9 6,0	16,1 9,2
octubre-diciembre	1 2 5 6	4,2 3,3	19,5 6,0

* En este caso en particular se utilizó $M = 25$ años.

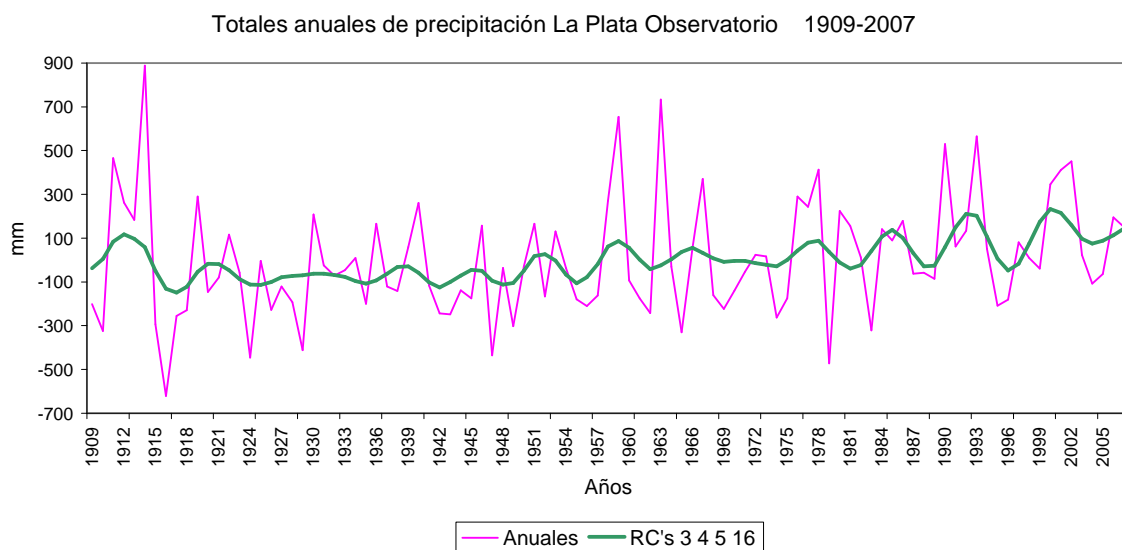


Figura 1 Serie de precipitación anual y reconstrucción parcial mediante componentes obtenidas a partir del SSA con $M = 25$ años.

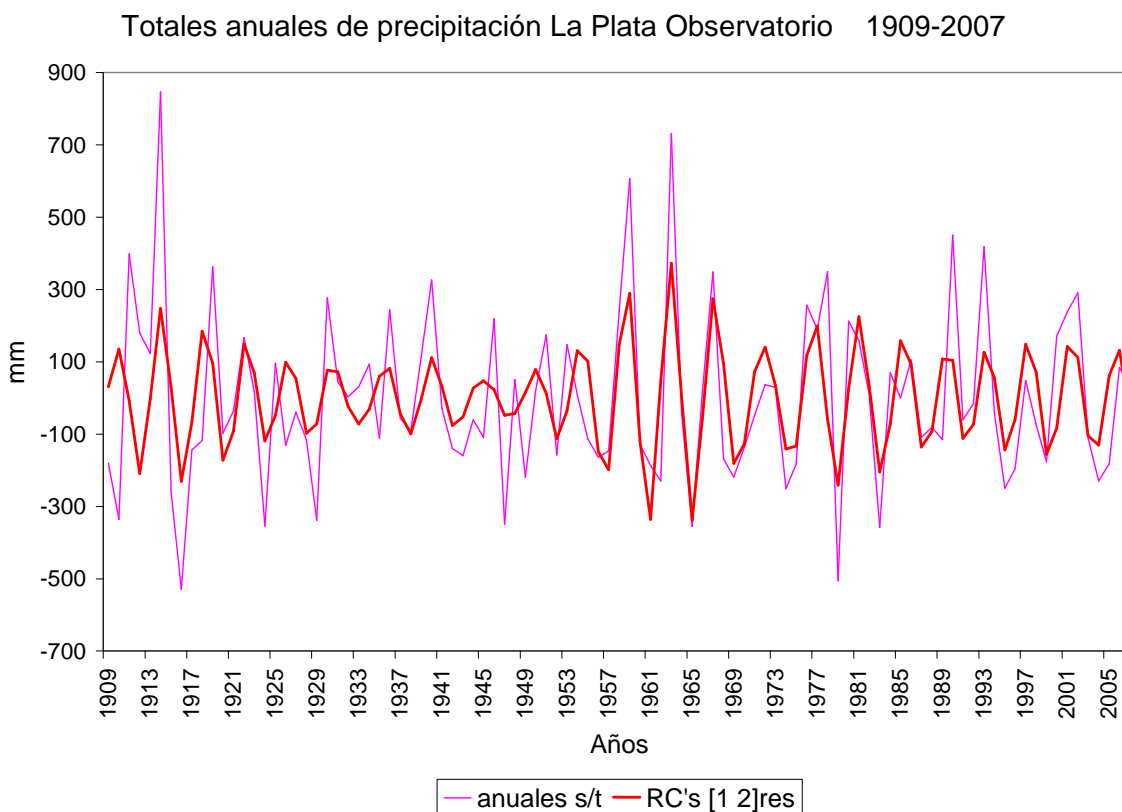


Figura 2 Serie de precipitación anual sin la tendencia y reconstrucción parcial mediante componentes obtenidas a partir del SSA con $M = 10$ aplicado a la serie residual.

Tabla III Series de SOI s/ tend lineal y series de precipitación s/ tends. no lineales

SOI \ LPO	Semestre cálido	Semestre frío	Anual
-----------	-----------------	---------------	-------

Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG
Climatología y Meteorología

Semestre cálido	<i>-0,25</i>	0,00	
Semestre frío	<i>-0,31</i>	<i>-0,31</i>	
Anual			<i>-0,31</i>

Tabla III (cont.)

SOI \ LPO	ene-mar	abr-jun	jul-sep	oct-dic
ene-mar	-0,02	-0,11		
abr-jun		<i>-0,27</i>	-0,01	<i>-0,24</i>
jul-sep			<i>-0,20</i>	<i>-0,38</i>
oct-dic	0,03			<i>-0,35</i>