

ANÁLISIS DEL CICLO SEMANAL EN EL RANGO DE TEMPERATURA DIARIA EN SUDAMÉRICA

Paola Corrales¹, Elio Campitelli¹

paobcorrales@gmail.com
eliocampitelli@gmail.com

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA

RESUMEN

El ciclo semanal refiere a la variación de una variable meteorológica causada por diferencia en la actividad humana entre los días hábiles y los fines de semana. Aunque fue observado en diversas regiones del planeta, no existe evidencia inequívoca de su existencia. Este es el primer trabajo que investiga el fenómeno en Sudamérica. Se buscó un ciclo semanal en el rango de temperatura diario (DTR) durante el período 1991-2005 para 81 estaciones en Argentina y Paraguay usando dos métodos distintos. Por un lado se ajustó un modelo sinusoidal con período de 7 días y se evaluó la significancia estadística de su amplitud mediante un análisis de Monte Carlo. Por el otro se comparó el ciclo de una semana usual con los correspondientes a una semana de 6 u 8 días. Se encontró un ciclo de 7 días estadísticamente significativo para Paraguay y el norte y litoral argentinos pero también se encontró un ciclo de 8 días más marcado en las mismas regiones. Los resultados no fueron concluyentes y ameritan un estudio más amplio y detallado.

ABSTRACT

The weekly cycle refers to the variation of meteorological variables caused by the difference in human activities between weekdays and weekends. Although this effect was observed in different parts of the world, there is no unequivocal evidence of its existence. This is the first piece of work that studies this phenomenon in South America. The daily temperature range (DTR) from 81 stations in Argentina and Paraguay during the 1991-2005 period was analyzed for a weekly cycle using 2 different methods. A sinusoidal model with a 7-day period was fitted to the data and its statistical significance was tested using a Monte Carlo analysis. Furthermore, a comparison was made between a regular 7-day week with one of either 6 or 8 days. A statistically significant 7-day cycle was found in Paraguay, in north Argentina and the Argentinian littoral, but an even more evident 8-day cycle was also found in the same regions. Results are not conclusive and they warrant more detailed studies.

Palabras clave: ciclo semanal, rango de temperatura diario, aerosoles.

1) INTRODUCCIÓN

El ciclo semanal (o efecto de fin de semana) puede definirse de diversas maneras pero fundamentalmente refiere a la variación de una variable meteorológica entre los días hábiles y los fines de semana (Daniel, et al., 2012). Ashworth (1929) fue el primero en estudiar este fenómeno a escala urbana (en Rochdale, Inglaterra) y en sugerir que la disminución en las emisiones de humo y gases de chimeneas durante el domingo podría producir una disminución en la precipitación durante ese día. El estudio del efecto de fin de semana a gran escala fue inaugurado por Gordon (1994), quien detectó un ciclo semanal en la temperatura (fines de semana más fríos que los días de semana) en el hemisferio norte usando datos satelitales.

Recientemente varios autores mostraron la existencia de ciclos semanales en Alemania (Bäumer & Vogel, 2007), España (Sanchez-Lorenzo, et al., 2008), China (Gong, et al., 2007), EE.UU. (Svoma & Balling Jr, 2009; Rosenfeld & Bell, 2011), y otras, en distintas variables meteorológicas.

Otros autores no logran encontrarlo (Hendricks Franssen, 2008; Barmet, et al., 2009; Stjern, 2011). Sin embargo, hasta ahora no existían trabajos de esta temática en Sudamérica.

Aún luego de varios años de estudio, todavía no hay un consenso claro sobre la existencia o no de este fenómeno (Sanchez-Lorenzo, et al., 2012). Las inconsistencias en la literatura científica pueden deberse a las distintas regiones y períodos analizados y/o a los métodos estadísticos utilizados. Daniel et al. (2012), por su parte, muestra que muchos de los métodos comúnmente utilizados son propensos a falsos positivos.

A pesar de que, según nuestro conocimiento, no existen estudios que atribuyan rigurosamente el ciclo semanal a las actividades humanas, dado que la semana de siete días es una convención social, no es esperable que un ciclo natural tenga exactamente este período. Virtualmente todos los estudios de los últimos años lo vinculan con las emisiones antropogénicas de aerosoles. Tanto su efecto directo como indirecto son potenciales mecanismos (Sanchez-Lorenzo, et al., 2012).

El efecto de los aerosoles es una de las principales incertidumbres en los modelos atmosféricos (IPCC, 2013). Encontrar un ciclo semanal en variables meteorológicas relacionado con éstos aportaría a un mayor entendimiento de la relación entre las actividades antropogénicas y la variabilidad atmosférica, permitiendo mejoras los pronósticos a corto y largo plazo.

En este trabajo se estudia el ciclo semanal en el centro-norte de Argentina y Paraguay durante el período 1991-2005. Se estudia el rango de temperatura diaria (DTR), ya que es la variable más utilizada en la detección de ciclo semanal (Sanchez-Lorenzo, et al., 2009).

2) MÉTODOS

Se obtuvieron datos diarios de temperatura máxima y mínima de 81 estaciones ubicadas en Argentina y Paraguay (Figura 1) de la base de datos CLARIS LPB (Penalba, et al., 2014). Para cada una se calculó el DTR y su anomalía respecto de la media móvil de 31 días (con una tolerancia de 5 días con datos faltantes). Finalmente, se dividió por el desvío estándar para obtener una anomalía estandarizada. Los datos faltantes se completaron con el promedio de la anomalía. Se analizó la estructura de datos faltantes y se observó que presentan una distribución homogénea con un ~2% de datos faltantes para cada día de la semana.

Para reducir la redundancia causada por la fuerte correlación espacial entre estaciones, se realizó un Análisis de Componentes Principales con rotación varimax en Modo S (Wilks, 2006). Dado que existen diversos criterios para determinar el número de Componentes Principales (PC) a seleccionar, se decidió analizar dos casos distintos. Por un lado se seleccionaron las primeras 2 PC (explicando el ~50% de la varianza) bajo el “método del codo” (Cattell, 1966) y, por otro, se seleccionaron las primeras 5 PC para capturar una mayor variabilidad (~70%) y obtener una mejor regionalización del territorio.

Para testear la existencia del ciclo semanal de 7 días, a cada una de las Componentes Rotadas (RC) se le ajustó un modelo sinusoidal de período de 7 días:

$$DTR(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{7}(t - \phi)\right) + \mu + \epsilon(t) \quad (1)$$

Donde t es el tiempo (días desde la primera observación), DTR es el rango de temperatura para el día t , A es la amplitud, ϕ es el corrimiento de fase, μ es el valor medio (que en este caso es nulo por tratarse de anomalías) y ϵ denota el error del modelo (Rosenfeld & Bell, 2011). Es importante notar que cualquier ciclo de 7 días puede expresarse como una suma de sinusoides con períodos de 7 días y armónicos más altos sin importar su forma exacta. Se realizó el mismo ajuste pero con período de 8 días para compararlo con el de una semana usual.

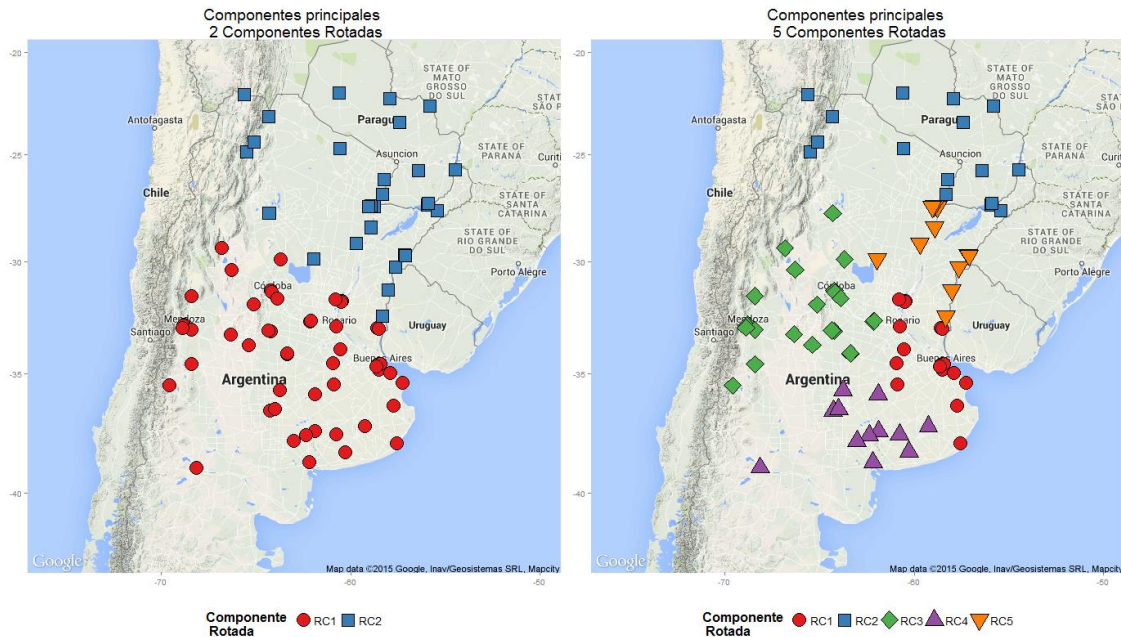


Figura 1: Clasificación de las 81 estaciones según la componente principal rotada con mayor correlación para 2 RC (izquierda) y para 5 RC (derecha).

Tabla I: Ajustes del modelo (1) para cada RC.

	2 RC		5 RC				
	RC1	RC2	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5
Amplitud (K)	0,039	0,048	0,043	0,060	0,009	0,012	0,056
Fase (días)	1,640	4,428	1,580	-1,080	0,478	1,116	3,397
P-valor	0,124	0,043	0,075	0,006	0,893	0,827	0,014
P-valor ajustado	0,124	0,086	0,126	0,032*	0,893	0,893	0,036*
P-valor ajustado (8 días)	0,110	0,000***	0,361	0,002**	0,063	0,869	0,008**

*= significativo con $p < 0,05$; **= significativo con $p < 0,01$; ***= significativo con $p < 0,001$;

Para evaluar la significancia estadística del ajuste, se realizaron 10.000 simulaciones de Monte Carlo y se contó en cuántas de ellas la amplitud era igual o mayor que la observada, obteniendo una estimación del p-valor del ajuste. Dado que se están realizando 5 tests de hipótesis (uno para cada componente principal rotada), los p-valores fueron corregidos para reducir la Tasa de Falso Descubrimiento (FDR) (Benjamini & Hochberg, 1955).

Un segundo método utilizado, no-estadístico y no-matemático, para visualizar el ciclo semanal es el “test de 6 u 8 días” (Barmet, et al., 2009) en el que se comparan los promedios diarios para la semana de 7 días con el de una hipotética semana de 6 u 8 días. Si la diferencia entre el máximo y el mínimo no es mayor para la semana de 7 días que para los otros casos, puede considerarse que el ciclo semanal es un artefacto.

3) RESULTADOS

En la Figura 1 se clasifica cada estación según la Componente Principal Rotada (RC) con la que tiene mayor correlación para la división de 2 y 5 RC (todas estadísticamente significativas con $\alpha = 0.05$). Se puede distinguir que cada componente representa una región bien definida.

En la Tabla I se muestran los coeficientes del ajuste del modelo (1) de 7 días para cada RC y el p-valor asociado para el análisis reteniendo 2 RC y reteniendo 5 RC. Para el análisis con 2 RC, se observa que el ajuste de 7 días no es significativo en ninguna de las componentes, mientras que para el análisis con 5 RC es significativo con $p < 0.05$ para la RC2 y la RC5, correspondiendo al área de Paraguay y norte argentino, y del litoral argentino respectivamente (Figura 1).

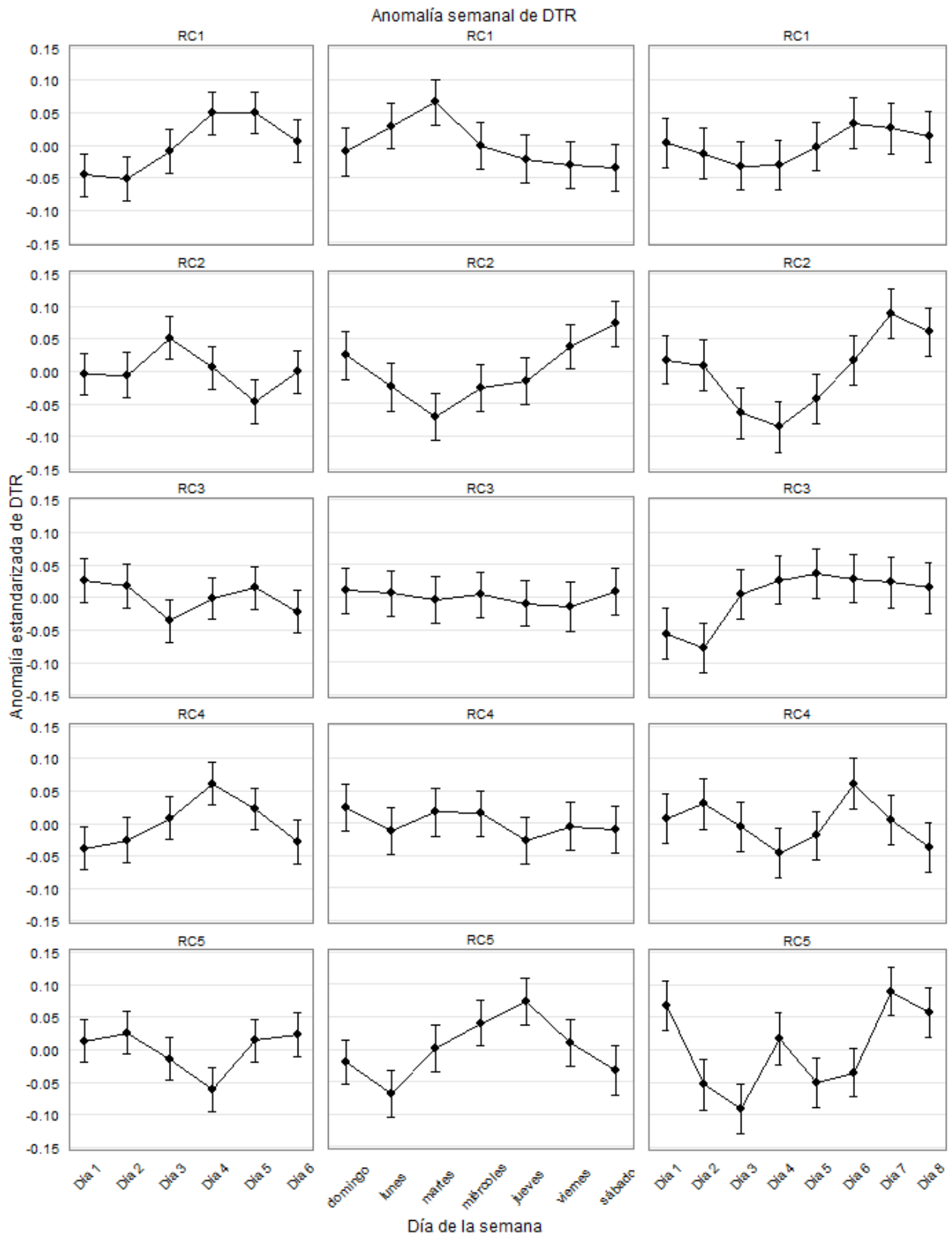


Figura 2: Ciclo semanal promedio de la anomalía de DTR para el período 1991-2005 para semanas de 6, 7 y 8 días y para cada RC en el caso de división en 5 componentes principales.
Barras de error: ± 1 error estándar.

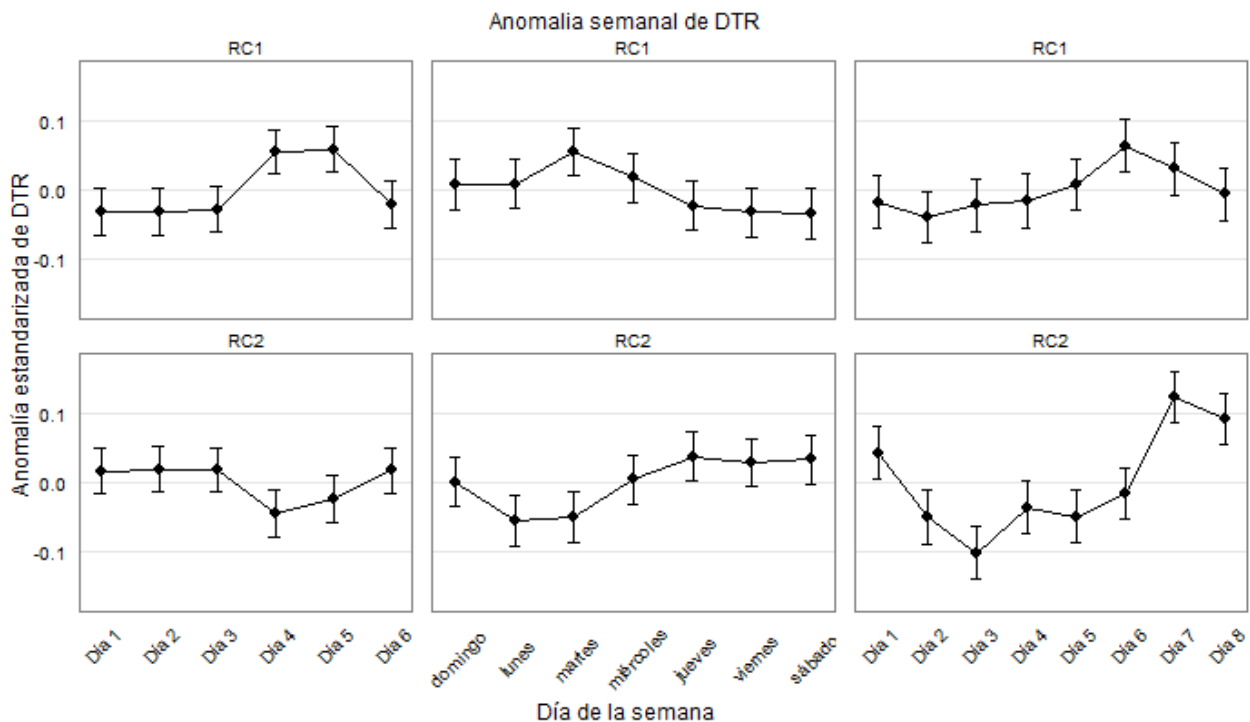


Figura 3: Ciclo semanal promedio de la anomalía de DTR para el período 1991-2005 para semanas de 6, 7 y 8 días y para cada RC en el caso de división en 2 componentes principales.
Barras de error: ± 1 error estándar.

En particular, para la división en 5 RC, estos resultados son consistentes con el gráfico de la anomalía media diaria para cada componente (Figura 2). En el análisis de 7 días, la onda semanal se observa con claridad para la RC2 (con un máximo el lunes y un mínimo el jueves) y para la RC5 (con un máximo el sábado y un mínimo el miércoles) mientras que está ausente en las otras componentes. La amplitud del ciclo de 8 días es mayor para estas componentes. El análisis de Monte Carlo aplicado al ajuste sinusoidal con período de 8 días confirma que éste es altamente significativo para ambas ($p < 0.01$ en ambos casos (Tabla I)). En la RC5 la forma del ciclo es más irregular y sugiere un ciclo de 4 días pero el análisis de Monte Carlo para este período de 4 días no es significativo ($p = 0.1$).

Para la división en 2 RC, no se detecta un período de 7 días significativo en ninguna componente mientras que el período de 8 días es altamente significativo para el RC2 (Tabla I y Figura 3) ($p < 0.001$).

Se realizó un análisis espectral de serie de datos (no se muestra) sin encontrar un máximo para los períodos en estudio. Esto puede deberse a que el espectro presenta mucho ruido que dificulta la detección de la señal.

4) DISCUSIÓN

En base a los resultados presentados no se puede decir que se haya detectado un ciclo de 7 días de forma inequívoca. En principio, al conservar sólo 2 componentes principales, el ciclo semanal no se detecta. Pero al conservar 5 componentes, el ajuste sinusoidal es significativo para 2 regiones (Paraguay y norte argentino, y litoral argentino).

Esta diferencia puede deberse a que la señal del ciclo semanal sea muy débil y por lo tanto al conservar sólo las primeras 2 componentes principales, no se explique suficiente varianza como para capturarlo. También es posible que la señal sólo esté presente en una región acotada y que la división en 2 grandes áreas no ofrezca suficiente detalle para que ésta sea detectada.

Asumiendo que los ciclos semanales observados en RC2 y RC5 son reales, es de notar que, si bien sus amplitudes son comparables, los máximos están desfasados en 2 días y los mínimos, en 1 día. El caso de RC2 es consistente con la idea de que durante la semana la mayor actividad humana genera mayores emisiones de aerosoles, los cuales servirían de núcleos de condensación, incentivando la formación de nubes que, finalmente, reducirían el rango de temperatura diaria mediante mecanismos radiativos.

La detección de un ciclo semanal en las emisiones y concentraciones de material particulado sería condición necesaria para que esta hipótesis fuera corroborada. El análisis de otras variables meteorológicas afectadas por la presencia de aerosoles también podría brindar información sobre su validez. Por ejemplo, en la frecuencia de precipitación (Svoma & Balling Jr, 2009; Stjern, 2011).

El caso de RC5, en cambio, resulta más difícil de explicar mediante este mecanismo. El rango de temperatura diaria comienza a aumentar en la mitad de la semana y a decaer durante el fin de semana. Una explicación para este fenómeno puede ser el mecanismo propuesto por Gong (2007) quien detectó un ciclo similar en China. Éste consiste en un proceso de retroalimentación negativa mediante el cual las mayores concentraciones de aerosoles inestabilizan la parte superior de la capa límite por calentamiento radiativo, incentivando movimientos verticales e induciendo una circulación horizontal que dispersa los contaminantes.

Un análisis detallado de las anomalías en la velocidad del viento podría dar apoyo a esta hipótesis. Sin embargo, que el patrón observado en una región cercana (RC2) no sea consistente con este mecanismo sería evidencia en su contra. También es posible que existan diferencias en las características climáticas y/o en el patrón de emisiones.

Por otro lado, la detección de un ciclo significativo de 8 días es evidencia en contra de la presencia de un ciclo real de 7 días y a favor de que se trata de un artefacto de los datos o de un ciclo natural sin un período preciso. Es posible que, de existir, la onda semanal se muestre con menos claridad que la onda sinóptica. Es notable que ésta última no se haya detectado en las otras regiones.

Esto puede explicarse dado que la región norte de estudio presenta una alta variabilidad en la emisión de onda larga (OLR), que es un proxy para el estudio de la convección, concentrada en períodos de entre 2 y 30 días (Liebmann, et al., 1999). Nogués-Paegle & Mo (1997) relaciona esta variabilidad con la oscilación de Sudamérica (South American Seesaw), que tiene un medio período de 10 días. Al ser éste un fenómeno natural, sugeriría que la variación aquí detectada no es de origen antropogénico. Sin embargo, estos procesos son estudiados en una banda de frecuencia amplia y por lo tanto es difícil determinar sus implicancias para un ciclo de 7 días.

Por último, cabe destacar la dependencia de los resultados a los tests estadísticos utilizados. El uso de distintos métodos, cada uno con sus fortalezas y debilidades, permite una evaluación más completa de la evidencia. Más que la significancia estadística en un test particular, es importante que los resultados sean consistentes.

5) CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos no es posible asegurar inequívocamente que exista un ciclo semanal. Sin embargo, las señales de 7 días estadísticamente significativas observadas tanto en el litoral argentino como en Paraguay y el norte argentino son consistentes con ciertos mecanismos propuestos en la literatura y ameritan un estudio más profundo. No obstante, la detección de un ciclo con período de 8 días altamente significativo en una amplia región del norte argentino y Paraguay dificulta notablemente la interpretación de los datos.

Además de extender el análisis a otras variables meteorológicas, es deseable que futuras investigaciones analicen otros períodos y regiones e incluyan estudios sobre emisión y concentración de material particulado. La inconsistencia de los resultados resalta la importancia de usar múltiples herramientas de análisis para evitar los falsos positivos.

AGRADECIMIENTOS: A María Laura Bettolli por la provisión de los datos y los excelentes consejos sin los cuales hubiera sido imposible la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS

- Ashworth, J. R., 1929.** The influence of smoke and hot gases from factory chimneys on rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Volumen 55, p. 341–350.
- Barnet, P., Kuster, T., Muhlbauer, A. & Lohmann, U., 2009.** Weekly cycle in particulate matter versus weekly cycle in precipitation over Switzerland. *Journal of Geophysical Research*, Volumen 114.
- Bäumer, D. & Vogel, B., 2007.** An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany. *Geophysical Research Letters*, Volumen 34, pp. 1-4.
- Benjamini, Y. & Hochberg, Y., 1955.** Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, Volumen 57, pp. 289-300.
- Cattell, R. B., 1966.** The scree test for the number of factors.. *Journal Multivariate Behavioral Research*, Volumen 1, p. 245–276.
- Daniel, J. S., Portmann, R. W., Solomon, S. & Murphy, D. M., 2012.** Identifying weekly cycles in meteorological variables: The importance of an appropriate statistical analysis. *Journal of Geophysical Research*, Volumen 117, pp. 1-14.
- Gong, D.-Y. y otros, 2007.** Weekly cycle of aerosol-meteorology interaction over China. *Journal of Geophysical Research*, Volumen 112, pp. 1-9.
- Gordon, A., 1994.** Weekdays warmer than weekends?. *Nature*, Volumen 367, pp. 325-326.
- Hendricks Franssen, H. J., 2008.** Comment on “An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany” by Dominique Bäumer and Bernhard Vogel. *Geophysical Research Letters*, Volumen 35.
- IPCC, 2013.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,: Cambridge University Press.
- Liebmann, B. y otros, 1999.** Submonthly Convective Variability over South America and the South Atlantic. *Journal of Climate*, Volumen 12.
- Nogués-Paegle, J. & Mo, K., 1997.** Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. *Monthly Weather Review*, Volumen 125.
- Penalba, O. C., Rivera, J. A. & Pántano, V. C., 2014.** The CLARIS LPB database: constructing a long-term daily hydro-meteorological dataset for La Plata Basin, Southern South America. *Geoscience Data Journal*, Volumen 1, pp. 20-29.
- Rosenfeld, D. & Bell, T. L., 2011.** Why do tornados and hailstorms rest on weekends?. *Journal of Geophysical Research*, Volumen 116, pp. 1-14.
- Sanchez-Lorenzo, A., Calbó, J. & Martin-Vide, J., 2009.** Reply to comment by H. J. Hendricks Franssen et al. on “Winter ‘weekend effect’ in southern Europe and its connections with periodicities in atmospheric dynamics”. *Geophysical Research Letters*, Volumen 36.
- Sanchez-Lorenzo, A. y otros, 2008.** Winter “weekend effect” in southern Europe and its connections with periodicities in atmospheric dynamics. *Geophysical Research Letters*, Volumen 35, pp. 1-5.
- Sanchez-Lorenzo, A. y otros, 2012.** Assessing large-scale weekly cycles in meteorological variables: a review. *Atmos. Chem. Phys*, Volumen 12, p. 5755–5771.
- Stjern, C. W., 2011.** Weekly cycles in precipitation and other meteorological variables in a polluted region of Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Volumen 11, pp. 4095-4104.
- Svoma, B. M. & Balling Jr, R. C., 2009.** An anthropogenic signal in Phoenix, Arizona winter precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, Volumen 98, pp. 315-321.
- Wilks, D. S., 2006.** *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed. s.l.:Elsevier Inc..