

# Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones en Azul, pcia. de Buenos Aires

## Influence of solar cycles on rainfalls in Azul, province of Buenos Aires

Carlos Vilatte, Laura Aguas, Adriana Confalone

Originales: Recepción: 11/07/2013- Aceptación: 07/04/2014

*Nota científica*

### RESUMEN

El objetivo de este artículo fue encontrar un sinergismo entre los máximos de actividad solar y las lluvias caídas en Azul, Pcia. de Buenos Aires (36°45' S; 59°57' O y altitud: 137 m s. n. m.), empleándose una serie de precipitaciones anuales desde 1913 hasta 2012. Los resultados mostraron que los últimos cuatro máximos de actividad solar se relacionan con los años de mayores precipitaciones. Las precipitaciones anuales para dichos años, presentaron un promedio de 1317 mm (2,4 desvíos estándar sobre la media) que resultó significativamente diferente a la media de los últimos cien años (855,7 mm  $\pm$ 191,1 mm). Se encontró una relación positiva entre los años de máxima actividad solar y la aparición de eventos extremos en las precipitaciones, que generan excesos hídricos e inundaciones en el sector rural y urbano de Azul.

### INTRODUCCIÓN

En el partido de Azul coexisten dos zonas bien diferenciadas, el sector norte corresponde a la fisiografía de la Pampa Deprimida y en el sector sur se encuentra un sistema de sierras bajas. En la ciudad de Azul comienza a manifestarse la ecorregión Pampa Deprimida y al encontrarse a orillas del arroyo del mismo nombre, los eventos de fuertes precipitaciones son de relevancia, debido a que son una causa importante de inundaciones que han tenido un gran impacto sobre la sociedad.

### ABSTRACT

The aim of this paper was to find a synergism between maximum solar activity and rains in Azul, Buenos Aires (36°45' S, 59°57' W and altitude. 137 m ), using a series of annual rainfalls from 1913 to 2012. The results showed that the last four solar activity maxima correspond to the years of highest rainfall. Annual rainfalls for those years recorded on average 1317mm (2.4 standard deviation above the mean), which was significantly different from the mean of the last hundred years (855.7mm  $\pm$ 191.1 mm). A positive relationship between years of maximum solar activity and the occurrence of extreme rainfall events that generate excess water and flooding in the rural and urban sectors of Azul was found.

#### Palabras clave

precipitaciones • variabilidad • ciclos solares

#### Keywords

rainfalls • variability • solar cycles

Algunos componentes del cambio climático del último milenio, al parecer, han estado muy relacionados con la variabilidad en la emisión de radiación solar. Desde comienzos del siglo XVII se realizaron en Europa observaciones telescópicas y recuentos en la aparición y desaparición de manchas solares, siendo los primeros en realizar estas observaciones los astrónomos italianos Galileo Galilei, en 1607 y Francesco Sizzi en 1612.

Los ciclos de actividad solar, aunque todavía no está totalmente clara la forma en que ocurre, influyen en el comportamiento de fenómenos climáticos terrestres, afectando por ejemplo, la cantidad de lluvia caída en nuestro planeta a nivel global, como también la temperatura superficial promedio de la tierra (11).

Si bien la contribución de los ciclos solares al balance de energía en la baja troposfera no es significativa en el aumento de la energía recibida desde el sol (0,1%) (1, 7), hay pruebas crecientes de que la actividad solar tiene una influencia en el clima terrestre (4). Se ha comprobado una conexión entre la estratosfera y la troposfera, como influencia de los ciclos solares a través de la interacción del ozono y las anomalías en la temperatura y el viento (3).

Hay coincidencia entre la alta actividad solar y el forzamiento atmosférico durante los últimos 50 años del siglo XX. Se ha observado también, que la contabilización de las manchas solares no resulta un buen indicador de la actividad solar, por lo que dicho forzante no puede considerarse por sí solo sin prestar atención a otros forzamientos naturales o antropogénicos que pueden interferir en el sistema climático (7).

Sobre la región pampeana Penalba y Bettolli (12) también predicen un incremento en la variabilidad de la precipitación diaria y un cambio en la distribución de las precipitaciones, para la segunda mitad del siglo XXI, por lo que estos cambios en los registros extremos parecen potenciarse con el cambio climático vigente, con un fuerte componente antropogénico.

En el partido de Azul, desde 1980 comenzó un período recurrente de inundaciones, que ha perjudicado gravemente la situación económica y social de sus habitantes, como también la actividad agroganadera debido al anegamiento de los campos (19, 20). Por tal motivo, resulta interesante encontrar una relación que permita predecir dichos eventos extremos de precipitación.

## Objetivo

- Observar la existencia de sinergismo entre los máximos de actividad solar y las lluvias caídas en la localidad de Azul, Pcia. de Buenos Aires.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El partido de Azul (36°13' a 37°26' S y entre 59°09' y 60°13' O), presenta un clima templado húmedo sin estación seca, con influencia oceánica, del tipo Cfb (5), característico de la región centro-este de la provincia de Buenos Aires. La temperatura media anual, para la zona centro del partido, es de 14,3°C, siendo de 21°C la del mes más cálido y 7,6°C la del mes más frío.

La región se enmarca en un régimen de precipitaciones de tipo Isohigro, con un promedio histórico de 855,7 mm y un desvío estándar de 191,1 mm. Los valores extremos presentan un registro mínimo de 487,8 mm y un máximo de 1470,2 mm.

Para este análisis se empleó una serie de precipitaciones anuales de cien años (1913-2012), pertenecientes a la estación Azul del Servicio Meteorológico Nacional (36°45' S; 59°57' O y altitud: 137 m s. n. m.), desde 1913 hasta 1992, y otro de 1992 a 2012, proveniente de la Estación Agrometeorológica del Centro Regional de Agrometeorología (8), que depende de la Facultad de Agronomía de Azul (UNCPBA). Se consideró como año de lluvias abundantes a aquellos donde el registro alcance o supere la suma del promedio más un desvío estándar (1046,8 mm).

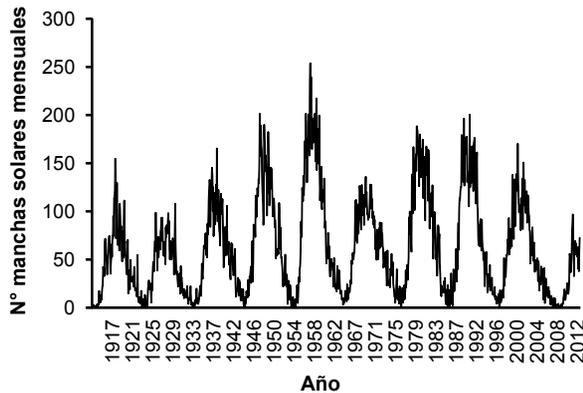
El número de manchas solares mensuales, correspondientes a los ciclos solares 15 al 24 (1913-2012), se obtuvo de los datos publicados por la Administración Nacional Oceánica y de la Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA) (9).

Se realizó un análisis de regresión y correlación de ambas variables mediante el programa Statgraphics Plus 4.0 (16).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de manchas solares varía en ciclos de aproximadamente 11 años (figura 1, pág. 230). Las primeras manchas de un ciclo aparecen junto a los polos y en los años siguientes surgen otras, cada vez más cercanas al ecuador solar, hasta completar el denominado "máximo solar".

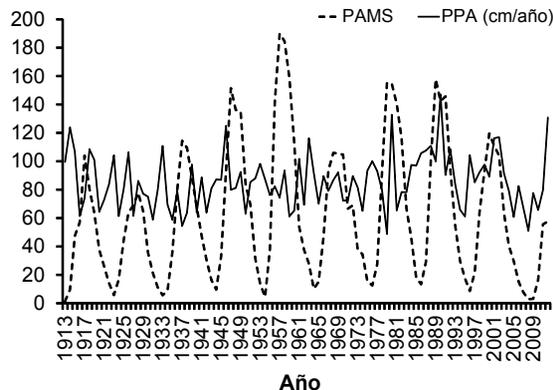
Posteriormente, las manchas van desapareciendo paulatinamente hasta llegar al mínimo solar. El número de manchas se correlaciona con la intensidad de la radiación solar, esto se ha comprobado en distintos estudios donde se ha reconstruido la irradiancia solar total usando las áreas y números diarios de manchas solares (2, 14).



**Figura 1.** Ciclos solares (15 al 24) y número de manchas solares mensuales. Elaboración propia con datos publicados por la Administración Nacional Oceánica y de la Atmósfera de Estados Unidos (NOAA).

**Figure 1.** Solar cycles (15 to 24) and monthly sunspot number. Based on data published by the National Oceanic and Atmospheric Administration, USA (NOAA).

La relación entre los ciclos solares y el balance de energía en superficie se explica por el efecto que puede tener la ionización solar sobre la formación de nubes bajas en nuestra atmósfera, incrementando la contra-radiación atmosférica (6, 10, 17, 18). En épocas de máxima actividad, el sol irradia una mayor cantidad de energía que en periodos de mínima actividad, y si bien resulta un forzante relativamente reducido, el mayor goce de radiación de onda corta estaría siendo magnificado por el efecto invernadero para los últimos cinco máximos solares, ocurridos en 1969, 1980, 1990, 2001 y 2012, donde se observa una mayor pluviosidad que en el resto de la serie (figura 2).



**Figura 2.** Promedio anual de manchas solares (PAMS) y precipitación anual para Azul (PPA) en los últimos 100 años (1913-2012). Elaboración propia con datos publicados por NOAA.

**Figure 2.** Average annual sunspots (PAMS) and annual rainfall for Azul (PPA) in the last 100 years (1913-2012). Based on data published by NOAA.

Si bien en el año 1969, se totalizaron 970 mm de precipitación y resulta un valor mayor a la media, este fenómeno se magnifica a partir de 1980, dando lugar a procesos de precipitación extrema que generaron inundaciones en Azul para los últimos cuatro máximos solares. Los años 1980, 1990 y 2012 resultaron los más lluviosos de los últimos 100 años. Esto se relaciona con lo encontrado por Stager, *et al.* (15) que revelan correlaciones entre el ciclo solar y fuertes lluvias en el este de África, ocurridas en el siglo XX. También se encontraron correlaciones de significación moderada a elevada en Tamil Nadu (India) trabajando con series de 100 años de datos de lluvia (13).

Cuando se analizó la relación entre años de máxima actividad solar y el total de precipitación anual para toda la serie (1913-2012), el coeficiente de correlación no otorgó ninguna asociación o resultó levemente negativa (-0,08), pero para el período 1969-2012 asciende a 0,35. No obstante, si no se considera el máximo de 2012, el período 1969-2001 alcanza una alta correlación (0,83) y un  $R^2=0,68$ . El año 2012 presentó abundantes precipitaciones (1308,1 mm) pero resultó un máximo solar con un bajo número de manchas: 58, respecto del promedio de años con máximo solar en el siglo ( $121 \pm 37,1$ ), este aspecto afectó la correlación entre las variables.

Las precipitaciones anuales de los últimos cuatro años de máximos solares (tabla 1) presentaron un promedio de 1317,2 mm (2,4 desvíos estándar sobre la media) que resultó significativamente diferente a la media de los últimos cien años (855,7 mm  $\pm$ 191,1 mm), con un 95% de probabilidad, al caer fuera del intervalo de confianza (480,9 mm-1230,4 mm). El año 2001, quedó dentro del intervalo de confianza, por lo que no se dio una diferencia significativa. No obstante, presentó 1,61 desvíos estándar sobre la media, estando entre los siete años más lluviosos del siglo, levemente por debajo del año 2002 (1168 mm), ambos pertenecientes al máximo solar anterior (ciclo 23).

**Tabla 1.** Años de máxima actividad solar y precipitaciones anuales.

**Table 1.** Years of maximum solar activity and annual rainfall.

Año	PP (mm)
1980	1327,6
1990	1470,2
2001	1162,7
2012	1308,1
Promedio	1317,2

De acuerdo con el análisis realizado no se puede descartar la incidencia de los últimos máximos solares sobre la ocurrencia de eventos extremos en las precipitaciones. Teniendo en cuenta que los máximos solares presentan una preiodicidad de 11 años, esto podría ser una herramienta útil para predecir, con varios años de anticipación, excesos hídricos e inundaciones como las ocurridas en el Partido de Azul, en los años 1980, 1990, 2001 y 2012.

## CONCLUSIONES

La periodicidad conocida de los ciclos solares (11 años) y la concordancia cronológica de estos procesos extremos en las precipitaciones con la ocurrencia de máximos solares, permitiría proyectar, desde los actores involucrados, respuestas posibles para estos eventos extremos de lluvias, tanto en el casco urbano de la ciudad como en el sector rural. Esto ayudaría a mitigar el impacto ambiental sobre la producción agropecuaria, como también, generar políticas de desarrollo urbanístico e infraestructura para evitar daños recurrentes en el sector urbano.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abbot, C. G. 1966. Solar Variation, a Weather Element (PDF). (6): 1627-1634.
2. Ambelu, T.; Falayi, E. O.; Elemo, E. O.; Oladosu, O. 2011. Estimation of total solar irradiance from sunspot number. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 5(4): 741-745.
3. Baldwin, M.; Dunkerton, T. J. 2005. The solar cycle and stratosphere-troposphere dynamical coupling *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 67: 71-82.
4. Hathaway, D. H.; Wilson, R. M. 2004. What the sunspot record tells us about space climate. *Solar Physics.* 224: 5-19.
5. Köppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*, Walter de Gruyter Co, Berlin und Leipzig. 388 p.
6. Lane, L. J.; Nichols, M. H.; Osborn, H. B. 1994. Time series analyses of global change data. *Environ. Pollut.* 83: 63-68.
7. Legras, B.; Mestre, O.; Bard, E.; Yiou, P. 2010. A critical look at solar-climate relationships from long temperature series. *Clim. Past.* 6: 745-758, doi:10.5194/cp-6-745-2010.
8. Navarro, M.; Vilatte, C.; Aguas, L. *Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires.* Centro Regional de Agrometeorología - U.N.C.P.B.A. v. 1 al 18.
9. NOAA. The Sunspot Cycle. 2013. Disponible en: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml> (fecha de consulta: 28/06/ 2013).
10. Pallé, E.; Butler, C.; O' Brien, K. 2004. The possible connection between ionization in the atmosphere by cosmic rays and low level clouds. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 66. (18): 1779-1720.
11. Pedreros, M. 2013. Manchas en el sol: ¿lluvias en la tierra?. Publicaciones del Departamento de Física, Universidad de Tarapacá. Volumen 17. [www.uta.cl/charlas/volumen17/Indice/MPedreros.pdf](http://www.uta.cl/charlas/volumen17/Indice/MPedreros.pdf) (fecha de consulta: 7/06/ 2013).
12. Penalba, O. C.; Bettolli, M. L. 2011. Climate Change Impacts on Atmospheric Circulation and Daily Precipitation in the Argentine Pampas Region. *Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects*, Dr Juan Blanco (Ed.), ISBN: 978-953-307-419-1, InTech, Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/climate-change-geophysical-foundations-and-ecological-effects/climatechange-impacts-on-atmospheric-circulation-and-daily-precipitation-in-the-argentine-pampas-re> (fecha de consulta: 5/12/ 2013).
13. Selavaraj, R. S.; Adita, R. 2012. The solar influence on the monsoon rainfall over Tamil Nadu. *J. Ind. Geophys. Union.* Vol.16, No.3, pp. 107-111.
14. Sharpiro, A.; Schmutz, W.; Rozanov, E.; Schoell, M.; Haberretter, M.; Shapiro, A. V. 2011. A new approach to long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing, *Astronomy and Astrophysics.* 1-6.
15. Stager, J. C.; Ruzmaikin, A.; Conway, D.; Verburg, P.; Mason, P. J. 2007. Sunspots, El Niño, and the levels of Lake Victoria, East Africa. *Journal Geophysical Research,* 112, D15106.
16. Statistical Graphics Corporation. 1999. *Statgraphics Plus for Windows 4.1.* Statistical Graphics. Corp., Rockville, MD.
17. Svensmark, H. 1998. Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate, *Physical Review Letters.* 81: 5027-5030.
18. Tinsley, B. A.; Yu, F. 2004. Atmospheric Ionization and Clouds as Links Between Solar Activity and Climate, in Pap, Judit M.; Fox, Peter, *Solar Variability and its Effects on Climate*, 141, American Geophysical Union. 321-339.

## Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones

19. Vilatte, C. 2009. Los ciclos solares y el clima. *Geociencias*. 16: 38-41.
20. Vilatte, C.; Navarro, M.; Confalone, A.; Aguas, L. 2008. Tendencia y variabilidad interanual de las heladas y las precipitaciones en las últimas décadas, en la zona centro del Partido de Azul, Pcia. de Buenos aires, Argentina. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. San Salvador de Jujuy.