



## ESTUDIO DE LA PERIODICIDAD DE 27 DÍAS EN LA ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA Y EN LOS PARÁMETROS DEL VIENTO SOLAR PARA EL CICLO SOLAR 23

Ana G. Elías<sup>1,2</sup>, Virginia M. Silbergleit<sup>1,3\*</sup>, Alicia C. de Gonzalez<sup>4</sup> y Patricia A. Larocca<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, Argentina

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Dpto. de Física, Tucumán, Argentina

<sup>3</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, FIUBA, Buenos Aires, Argentina

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Sao José dos Campos SP, Brasil

### Resumen

Se analiza la periodicidad de 27 días para la actividad geomagnética y tres parámetros del viento solar. Las variaciones en frecuencia y tiempo se estudian a partir de la transformada wavelet. Se utiliza el índice de actividad geomagnética aa, la intensidad del campo magnético (B), la densidad (d) y la velocidad (v) del viento solar y el número de manchas solares (Rz) como referencia de la actividad solar. El período estudiado es julio 1996 - diciembre 2005, que corresponde al ciclo solar 23 donde los últimos años corresponden a la fase final del mismo. Para el intervalo de tiempo analizado se pudo observar que la periodicidad de 27 días se halla presente en los parámetros estudiados principalmente en la fase descendente del ciclo solar y durante el máximo del mismo, sin poder significativo en el período de ascenso. Además de las variaciones temporales se observa una variación en la periodicidad a lo largo del ciclo solar. En algunos casos esta periodicidad disminuye cuando se acerca a los niveles mínimos del ciclo solar, como es de esperar en relación al movimiento meridional de las regiones activas hacia latitudes más bajas. Sin embargo, se observaron periodicidades inferiores a 27,27 días (período sinódico en el Ecuador solar) indicando regiones interiores del Sol como posibles fuentes de regiones activas o un fenómeno superficial que aparece debido a los cambios de la actividad solar durante la rotación del Sol.

### Abstract

Geomagnetic activity and solar wind parameters are analyzed in terms of the periodicity linked to solar rotation, that is the 27-day cycle. Its fluctuation in frequency and time is studied using the wavelet power spectrum. For this purpose we used the geomagnetic activity aa index and three solar wind parameters: magnetic field magnitude (B), density (d) and velocity (v). The sunspot number, Rz, is also analyzed to have a solar activity reference. The study was carried out for the period July 1996 – December 2005, which corresponds to solar cycle 23, except for the last years corresponding to its final minimum level. For the time period and parameters here analyzed, the 27-day periodicity is observed to have enhanced power during maximum and falling phase of the solar activity cycle, with no significant power during the ascending phase, not even in solar activity. Besides the time evolution, a periodicity variation is also noticed along the solar cycle. In some cases the period decreases as the solar cycle approaches minimum levels, as expected from the meridional movement of active regions towards lower solar latitudes during this time. However, periodicities lower than 27.27 days (synodic period at the solar equator) are also observed, pointing out inner regions of the sun as possible sources of the active regions, or a surface phenomenon arising because of solar activity shifts during solar rotation.



## Introducción

La distribución de las regiones magnéticamente activas en la superficie solar no es homogénea, sino que tienden a formarse en longitudes preferenciales. Esta tendencia de estas regiones activas a agruparse en ciertas longitudes ha sido ampliamente estudiada (Warwick, 1964). Estas zonas activas se pueden observar aún luego de varias rotaciones solares (Bogart, 1982; Bai, 1987). Por lo tanto, la periodicidad de 27 días se ve reflejada tanto en el Sol como en los parámetros de actividad geomagnética detectados en la Tierra, aunque de la observación de diferentes estructuras se detectan períodos sinódicos ligeramente diferentes al de la rotación solar (Ruzmaikin et al., 2001). Cerca de la superficie solar, en el ecuador el período de rotación sinódica corresponde a 27,27 días (período de rotación sideral es 25,38 días) aumentando gradualmente hasta 35 días hacia las zonas polares. Este comportamiento se extiende hasta la zona de convección. Luego de la tacoclina, la velocidad angular se ajusta a la de un cuerpo rígido con un período de rotación de 26,8 días (Howe et al., 2000). Para un análisis exhaustivo de la rotación interna del Sol ver Thompson et al. (2003).

La velocidad de rotación solar cambia durante un ciclo solar y también de un ciclo solar a otro (Gilman y Howard, 1984; Astafyeva y Bazilevskaya, 2000; Kane, 2002; Rybak et al, 2005; Baltasar, 2007; por mencionar algunos). Existen muchos estudios sobre este tema, algunos datan del siglo XVIII. A continuación se detallan algunos como ejemplo de la diversidad del tema. Pap et al. (1990) observaron que la periodicidad de 27 días es más pronunciada en la fase descendente del ciclo solar que en la ascendente y explicaron que durante el máximo y la fase descendente el campo magnético tiene un comportamiento más constante. Temer et al. (2004, 2005) que analizaron los ciclos solares del 19 al 22 reportaron periodicidades de 24 días en la aparición de erupciones solares las que se observan preferentemente alrededor de los máximos solares. Una explicación posible está referida a la rotación del interior solar que indica que las zonas más profundas rotan más rápido que la fotosfera solar. Bai (1987) encontró que las zonas activas rotan con un período de 26,75 días. Además halló regiones superactivas que giran con una periodicidad constante de 23,7 días. Esto podría deberse a que las fuentes de la actividad están en capas interiores que rotan con esa periodicidad. Bai y Sturrock (1993), a partir del estudio de erupciones solares, propusieron un período fundamental de 25,5 días resultante de dos centros activos que rotan alrededor de un eje inclinado 40°, dando lugar a la conocida periodicidad de 154 días.

En el presente trabajo se analiza la periodicidad de 27 días, mediante la transformada wavelet, para el índice geomagnético aa, tres parámetros del viento solar (la intensidad del campo magnético, B, la densidad,  $d$ , y la velocidad,  $v$ ) y el número de manchas solares, Rz a lo largo del ciclo solar 23. Con este estudio se intenta hallar resultados adicionales a un tema que ya tiene importantes contribuciones.



## Análisis de datos

Se analizaron los parámetros del viento solar, el índice aa y Rz diariamente para el intervalo temporal del 1 de julio de 1996 al 31 de diciembre de 2005 (ciclo solar 23). Los datos de la intensidad de campo magnético, B, densidad, d, y velocidad, v del viento solar se obtuvieron de la página web: GSFC/SPDF OMNIweb (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>) (King and Papitashvili, 2004). El índice aa y Rz se obtuvieron del Nacional Geophysical Data Center (<http://www.ngdc.noaa.gov/>).

Los pocos datos faltantes de los recopilados de OMNI para el período elegido para el análisis fueron interpolados linealmente para obtener la serie completa de datos requerida para el análisis estadístico realizado.

La aplicación de la transformada wavelet a las cinco series de datos se evaluó utilizando el software proporcionado por C. Torrence y G. Compo (disponible en <http://atoc.colorado.edu/research/wavelets/>). Se utilizó la función Morlet con parámetro  $\omega=40$  que, en este caso permite una resolución razonable tanto en frecuencia como en tiempo. El espectro de potencia, que se muestran en las figura 1-5, se evaluó para el rango de 24 a 30 días con el fin de determinar la variación en frecuencia y tiempo de las periodicidades relacionadas con el período de rotación solar. Las zonas con colores del amarillo al rojo indican 95% de significancia.

Figura1 Figura2 Figura3 Figura4 Figura5

Figs 1, 2, 3, 4 y 5 (de arriba hacia abajo) Espectro de potencia usando ondita Morlet con parámetro  $\omega=40$ , para el rango de 24-30 días para las series temporales: (1) intensidad del campo magnético, B, (2) densidad del viento solar, d, (3) velocidad del viento solar, v, (4) índice aa, (5) número de manchas solares Rz, durante el período de Julio 1, 1996 a Diciembre 31, 2005 (ciclo solar 23). Las zonas en las figuras con colores del amarillo al rojo tienen un nivel del 95% de significación.

Comenzando con el viento solar, en el caso de B, se observa un pico en el espectro de potencia para el período de rotación solar durante el máximo solar (alrededor del año 2000) y que se extiende durante la fase de declinación del ciclo solar. Cuando se calcula el espectro de potencia global el período más prominente es de 27,5 días; sin embargo, aparece una periodicidad de 28,6 días alrededor del máximo solar, disminuyendo a 27,25 días en la fase descendente del ciclo solar.

En el caso de d, se obtiene un período significativo de 27,0 días sólo para el máximo solar. Para V, la mayor potencia se obtiene a la velocidad sinódica de rotación en el máximo solar y durante la fase de declinación del ciclo, siendo esta última más importante, a diferencia de lo que ocurre con d.

En el caso del índice aa, el comportamiento de los espectros en frecuencia y en tiempo es más complejo que para los parámetros del viento solar descriptos anteriormente. También se observa un incremento de la potencia en el máximo y en la fase descendente del ciclo solar. La más importante periodicidad corresponde a 27,5 días durante el máximo y declinación del ciclo. Pero también, con menor importancia, aparecen picos significativos alrededor de 30 días y de 24 días como ya habían sido advertidos por Temer et al. (2004, 2005). Para Rz aparecen los picos de potencia en 27 días durante el máximo solar, alrededor del año 2000, a continuación, ese período se reduce a 26,3 días. Esta variación es consistente con el hecho de que en el inicio de un ciclo, las manchas solares tiende a aparecer en latitudes medias y luego se mueven hacia el ecuador con el avance del ciclo. Ambos valores menores al del período sinódico pueden deberse a que las propiedades magnéticas de las manchas están asociadas a niveles inferiores de la fotosfera que se mueve más rápidamente (Gilman, 1974; Bai, 1987).



## Conclusiones

Como ya se ha discutido y observado por varios autores, la periodicidad vinculada a la rotación solar presenta una tendencia no uniforme y un valor de periodicidad variable.

Para los parámetros aquí analizados, y teniendo en cuenta que sólo se estudió un ciclo solar, esta periodicidad es mayor durante el máximo y la fase de decaimiento de la actividad solar del ciclo. Durante la fase ascendente, no hay una tendencia significativa en este período. Se podría pensar que su importancia durante el máximo y la fase de caída pueden ocultar su presencia en la fase ascendente. Sin embargo, Ozguc et al. (2002) analizando sólo la rama ascendente del ciclo solar de ciclo de 23 años, no detectaron esta periodicidad, siendo sólo la de 35 días la única periodicidad observada con bajo poder significativo.

La variación en frecuencia de la rotación solar, puede deberse probablemente, no sólo por los movimientos meridionales de las regiones activas en la superficie solar, sino también a los movimientos radiales donde existe un gradiente de la velocidad angular.

El valor de 27,0 observado en  $d$  y  $R_z$  coincide con la periodicidad 27,03 días observados por Neugebauer et al. (2000), que explican por un incremento de la profundidad de la fuente solar. Ruzmaikin et al. (2001) explican este hecho por la presencia de una robusta estructura magnética en el sol que gira más rápido que la rotación ecuatorial solar.

Henney y Harvey (2002), que demostraron que esta periodicidad fue significativa en las últimas dos décadas, encontraron que su origen es la larga duración de las regiones activas en el hemisferio norte.

En el caso del índice aa, aparece un pico en 21,9 días en un corto intervalo de tiempo (2003-2004), que, aunque más fuerte que cualquier otro pico en el rango de 11-30 días, debido a su corta duración, no aparece como un pico importante en el espectro global. Este coincide con el pico de 22,5 días observado en B.

## Agradecimientos

Agradecemos al National Space Science Data Center por proveernos los datos OMNI y a C. Torrence y G. Compo por facilitarnos el software de wavelets.

## Referencias

Astafyeva, N.M., Bazilevskaya, G.A., 2000, Long term changes of cosmic ray intensity: spectral behaviour and 27-day variations. *Phys. Chem. Earth (C)* 25, 129-132.

Bai, T., 1987, Distribution of flares on the sun: Superactive regions and active zones of 1980-1985. *Astrophysical Journal*, Vol 314, p. 795-807.

Bai, T., and Sturrock, P., 1993, Evidence for a fundamental period of the sun and its relation to the 154 day complex of periodicities. *Astrophysical Journal*, Part 1. 409, no. 1, p. 476-486.

Balthasar, H., 2007, Rotational periodicities in sunspot relative numbers. *Astron. Astrophys.* 471, 281-287.

Bogart, R.S., 1982, Recurrence of solar activity: Evidence for active longitudes. *Sol. Phys.* 76, 155-165.

Gilman, P.A., 1974, Solar rotation. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 12, 47-70.

Gilman, P.A., Howard, R., 1984, Variations in solar rotation with the sunspot cycle. *Ap.J.* 283, 385-391.



- Henney, C.J., Harvey, J.W., 2002, Phase coherence analysis of solar magnetic activity. *Solar Physics*, 207, 199-218.
- Howe, R., Christensen-Dalsgaard, J., Hill, F., Komm, R.W., Larsen, R.M., Schou, J., Thompson, M.J., Toomre, J., 2000, Dynamic variations at the base of the solar convection zone. *Science* 287, 2456-2460.
- Kane, R.P., 2002, Variability in the periodicity of 27 days in solar indices. *Solar Physics*, 209, 207-216.
- King, J.H., Papitashvili, N.E., 2004, Solar wind spatial scales in and comparisons of hourly Wind and ACE plasma and magnetic field data. *J. Geophys. Res.* 110, doi 10.1029/2004JA010804.
- Neugebauer, M., Smith, E.J., Ruzmaikin, A., Feynman, J., Vaughan, A.H., 2000, The solar magnetic field and the solar wind: Existence of preferred longitudes. *J. Geophys. Res.* 105, 2315-2324.
- Ozguc, A., Atac, T., Rybak, J., 2002, Flare index variability in the ascending branch of solar cycle 23. *J. Geophys. Res.* 107, doi 10.1029/2001JA009080.
- Pap, J., Tobiska, W.K., Bouwer, S.D., 1990, Periodicities of solar irradiance and solar activity indices, I. *Solar Physics* 129, 165-189.
- Ruzmaikin, A., Feynman, J., Neugebauer, M., Smith, E.J., 2001, Preferred solar longitudes with signatures in the solar wind. *J. Geophys. Res.* 106, 8363-8370.
- Rybak, J., Ozguc, A., Atac, T., Sozen, E., 2005, Intermittence of the short-term periodicities of the flare index. *Adv. Space Res.* 35, 406-409.
- Temmer, M., Veronig, A., Rybak, J., Brajsa, R., Hanslmeier, A., 2004, On the 24-day period observed in solar flare occurrence. *Solar Physics* 221, 325-335.
- Temmer, M., Rybak, J., Veronig, A., Hanslmeier, 2005, What causes the 24-day period observed in solar flares?. *Astron. Astrophys* 433, 707-712.
- Thompson, M.J., Christensen-Dalsgaard, J., Miesch, M.S., Toomre, J., 2003, The internal rotation of the sun. *Annu. Rev. Astron. Astrophys* 41, 599-643.
- Warwick, C.S., 1965, Longitude distribution of solar flares. *Ap. J.* 141, 500-504.