

SOBRE LA VARIABILIDAD DEL CICLO DE MANCHAS SOLARES

*Julio César Gianibelli¹, Iris Rosalía Cabassi², Nicolás Quaglino³
y Mónica Mac William⁴*

^{1,2,3,4}Depto de Geomagnetismo y Aeronomía de la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

¹ geofisicogianibelli@yahoo.com.ar , ²rosy@fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

Se analiza la serie de tiempo caracterizada por el número de manchas solares agrupadas y promediadas según el número estacional de Bartels, en el intervalo 1868-2004.0. La determinación del intervalo donde se suceden los mínimos y máximos se presenta como un desafío. Se propone un método basado en la simulación de la serie mediante una reconstrucción de la misma, utilizando análisis espectral clásico, y la determinación de las componentes espectrales. Se compara la serie reconstruida con la original y se determinan los intervalos del valor mínimo y máximo mediante el análisis de la tendencia lineal y cuadrática de los finales de las partes descendentes y ascendentes de cada ciclo para los mínimos y viceversa para los máximos.

Se analiza la evolución del tiempo que transcurre entre cada mínimo de cada ciclo solar, como también entre cada máximo. Se observa que los mismos tienen una tendencia decreciente, la cual disminuye de 11.8 años para los máximos entre los ciclos solares 11 y 12 a 9.9 años para los máximos entre los ciclos solares 22 y 23. Para los mínimos se tiene que la tendencia del ciclo solar 12 disminuye de 11.2 años a 10.4 años para el ciclo solar 22.

Se concluye que los cambios observados pueden ser considerados como señales de procesos de escalas temporales mayores, que se presentan con períodos cambiantes. Para el caso de mínimos continuos, como el de Maunder, podría considerarse como un fenómeno transitorio no aislado, ya que es posible que pueda repetirse.

Palabras clave: Sol, Ciclo Solar, Manchas Solares, Máximos Solares, Mínimos Solares

ABSTRACT

The temporal series characterized by the Sun's Spot Number, grouped and averaged according to the Bartel's seasonal number, in the period 1868-2004.0 are analyzed. The determination of the interval where the minimums and maximums comes to pass is presented as a challenge. A method supported on the simulation of the series by means of its reconstruction, using classical spectral analysis, and on the determination of spectral components, is proposed. The original data serie and the reconstructed one are compared and then the intervals of the maximum value and the minimum value are determined, by means of linear and quadratic tendencies analysis made on the ends of each descending part and ascending part for the minimums and vice versa for the maximums.

The evolution of the transcurring time between each minimum of each solar cycle, as well as between each maximum, are analyzed. It is observed that these times have a decreasing tendency, which diminish from 11.8 years for the maximums between the solar cycles 11 and 12 to 9.9 years for the maximums between the solar cycles 22 and 23. In the case of the minimums it is found that the tendency of solar cycle 12 decreases from 11.2 years to 10.4 years for the solar cycle 22.

It is concluded that the observed changes can be considered as signals of processes with greater temporal scales and changing periods. In the case of continuous minimums, as the case of the Maunder's minimum, could be considered as a transitory and non isolated phenomenon, since it is possible that can repeat.

Keywords: Sun, Solar cycle, Sunspots, Solar maximum, Solar minimum.

INTRODUCCION

Una de las series de tiempo que mas se ha determinado del Heliosistema es el número de manchas solares. De ella se deduce el denominado ciclo de manchas solares que regula una gran cantidad de procesos de la llamada conexión Sol-Tierra. De la enorme cantidad de bibliografía sobre este fenómeno es posible mencionar los trabajos de Eddy (1980) y las simulaciones efectuadas por Barnes *et al.* (1980). Estudios más avanzados se encuentran en Faulkal (2004), Haig *et al.* (2005), Hanslmeier (2002), Lang (2000), Scherer *et al.* (2005) y Benestad (2006). Estudios llevados a cabo sobre los grandes periodos del ciclo solar y la actividad magnética fueron realizados por Gianibelli y Cabassi (2004) y más reciente Gianibelli y Quaglino (2006) comprobaron la relación entre las tendencias observadas en el ciclo solar y la amplitud térmica registrada en La Plata desde 1944 hasta el 2005.0.

La determinación estimativa del ciclo solar de la serie de tiempo del número de manchas solares debidamente acondicionada muestra que diversas ondas están presentes además de la de 11.5 años promedio, que se detecta con los sistemas de análisis espectral clásicos. En el presente trabajo se utiliza la determinación y reconstrucción filtrada de la serie de manchas solares para el intervalo 1868-2004.0 que comprende los ciclos solares 11 a 23.

De esta reconstrucción se determina estimativamente las fechas de ocurrencia del máximo y mínimo de cada ciclo. El objetivo de este trabajo consiste en analizar la evolución del tiempo empleado por cada ciclo, sus partes ascendentes y descendentes y la determinación del comportamiento diferenciado de cada parte.

ANALISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

Comúnmente las series analizadas son promedios mensuales, mensuales suavizados y anuales. Para este caso se utiliza una selección basada en el criterio de selección estacional de Bartels (Chapman y Linzen 1970). Este sistema basado en la posición relativa Tierra-Sol, toma intervalos de 15 y 16 días a partir del 22 de Diciembre de cada año, según se muestra en la Tabla 1

La incidencia variable de la radiación solar sobre la Tierra en el curso de un año depende de la declinación del Sol. Diversos efectos son producidos en la Ionosfera, Campo Geomagnético y sobre las variables meteorológicas. La división en 12 meses del año del calendario Gregoriano no se adapta a los diversos estudios de la conexión Sol-Tierra, pues el agrupamiento y/o promedio de las variables geofísicas y heliofísicas en meses son desiguales en longitud (Chapman y Linzen 1970). Esta subdivisión en 24 intervalos cuasi quincenales está basado en la longitud media h del Sol. Se las enumera con números impares más cercanos al entero dado por: $48(h^{\circ}-90^{\circ})/360$, como se muestra en la Tabla 1.

Se promediaron el número de manchas solares para cada intervalo de 15 ó 16 días para el intervalo 1868-2004.0. La Figura 1 muestra este resultado. A esta serie de tiempo se le determina el espectro de Fourier y se aplicó un filtro para banda como se muestra en la Figura 2. El espectro de Fourier muestra

Tabla 1. Intervalos de 15 y 16 días a partir del 22 de Diciembre de cada año

Grupo Fecha	Grupo Fecha	Grupo Fecha
01 DIC 22	17 ABR 22	33 AGO 21
03 ENE 06	19 MAY 07	35 SEP 06
05 ENE 21	21 MAY 22	37 SEP 21
07 FEB 05	23 JUN 06	39 OCT 06
09 FEB 20	25 JUN 21	41 OCT 22
11 MAR 07	27 JUL 06	43 NOV 07
13 MAR 23	29 JUL 21	45 NOV 22
15 ABR 07	31 AGO 06	47 DIC 07

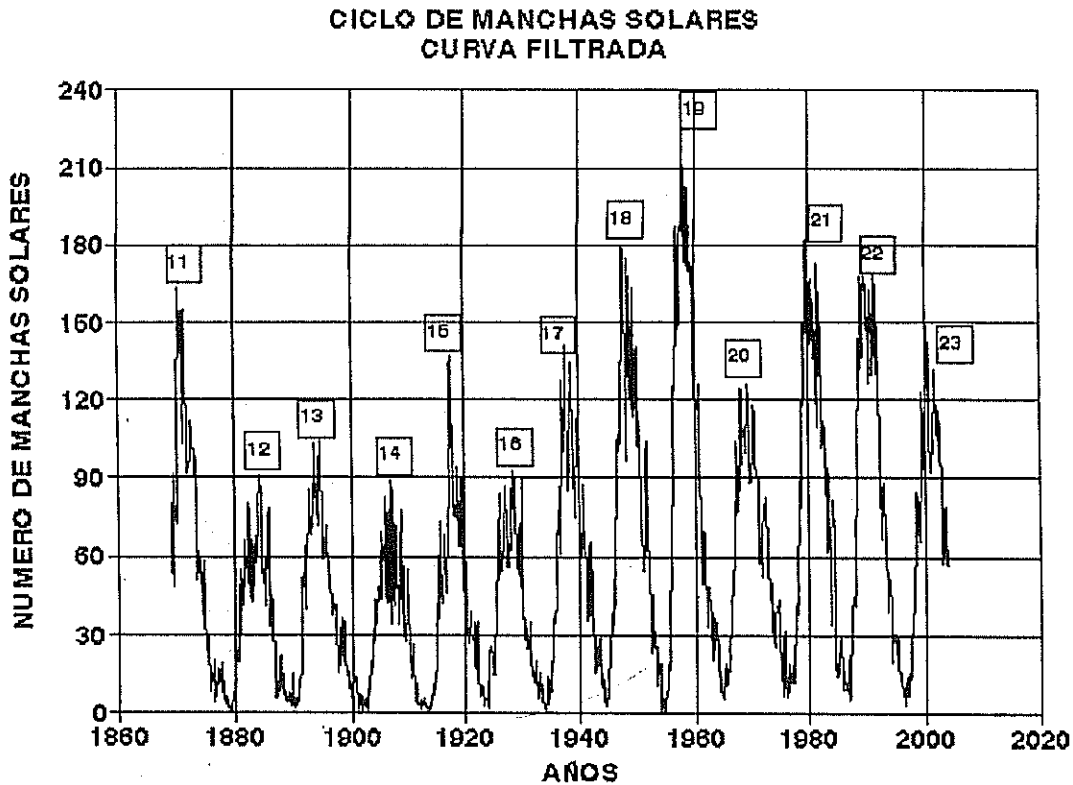


Figura 1. Serie de tiempo del número de manchas solares promediadas a intervalos cuasiquincenales según la Tabla 1, y filtrada.

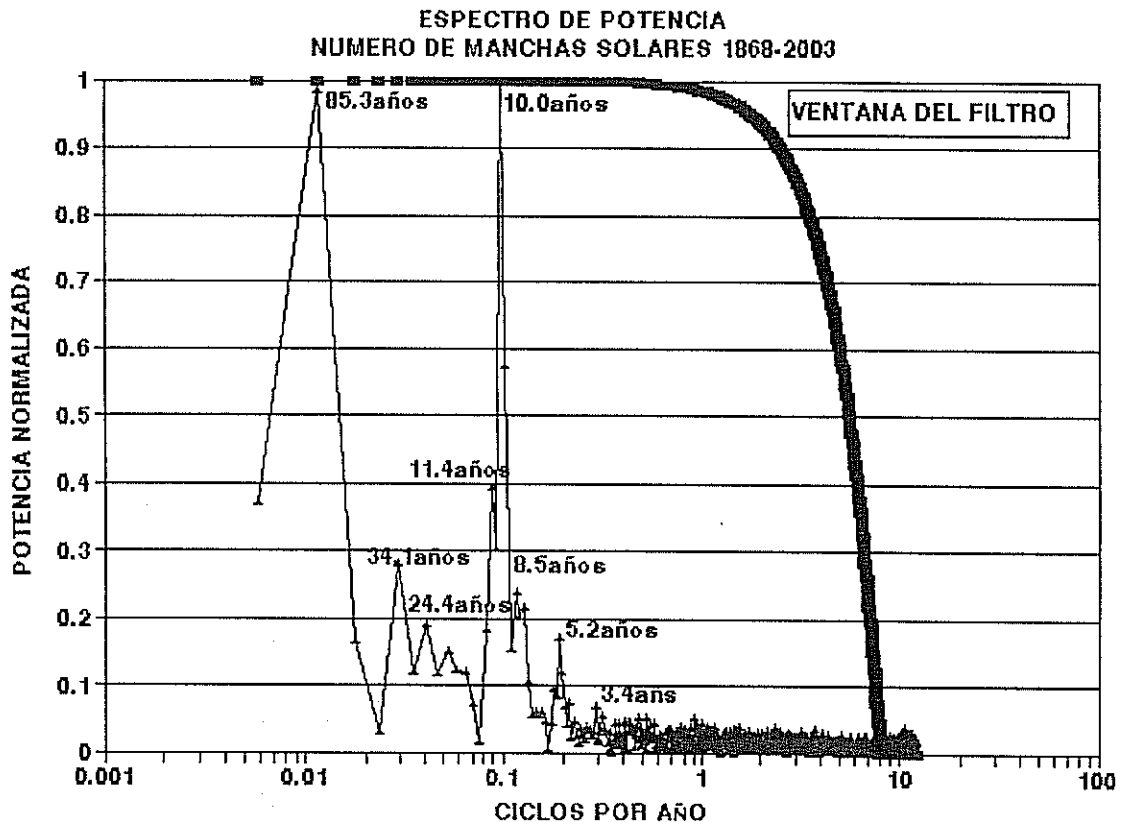


Figura 2. Espectro de Potencia de Fourier del Número de Manchas Solares normalizado y Ventana del Filtro utilizado para la reconstrucción de la serie temporal de la Figura 1.

que el máximo correspondiente al período del ciclo solar de 10.0 años y el de 11.5 años es de menor amplitud. Otros períodos son detectados como los de 24.4 años (doble ciclo solar), 34.1 años y 85.3 años. Períodos menores al solar de 10 años son detectados como el de 8.5 años, 5.2 años y 3.4 años.

Se determinaron las fechas donde se producían los máximos y los mínimos de cada ciclo solar en el intervalo de análisis mediante el estudio de la tendencia lineal y cuadrática de los finales de las partes descendentes y ascendentes de cada ciclo para los mínimos, y viceversa para los máximos. Se calcularon los tiempos entre dos mínimos y entre dos máximos consecutivos de los ciclos solares para el período 1868-2004. Las Figuras 3 y 4 presentan estos resultados observándose la tendencia decreciente de estos intervalos, que varían entre 9.5 años y 11.8 años para los mínimos y 9 años y 13.4 años para los máximos. El mismo criterio fue posible determinar para el empleado en las partes ascendentes y descendentes de cada ciclo.

Las Figuras 5 y 6 muestran la evolución temporal de cada ciclo tomado entre mínimos y máximos, la tendencia, y la determinación de su tasa de cambio anual. La Figura 6 también muestra que desde 1920 se observa

un comportamiento oscilatorio alrededor de los 10.5 años de forma amortiguada, que sería interesante comparar con otros métodos de determinación de los intervalos entre máximos consecutivos desde la época de 1610.8.

Un resultado importante es que el tiempo empleado entre los máximos (Fig. 6) aparentemente podría ser representado por una función no lineal, tal vez de 2° grado, que indicaría que en los próximos años volvería a incrementarse y llevar nuevamente los períodos a los observados en los ciclos 11-12 y 13-14, también con valores pequeños como el observado 12-13. Pero el criterio adoptado como resultado más importante es el de decrecimiento lineal. Esto se sustenta con el análisis de simulación realizado por Barnes *et al.* (1980) que mediante un modelo auto-regresivo de promedios móviles reproduce ciclos semejantes a los observados desde el año 1000. En esta simulación aparecen mínimos por largos intervalos de años, como los de Wolf, Spörer y el más reciente y estudiado de Maunder. Otro resultado interesante es el presentado en la Figura 7, donde se observa que la tendencia de variación por ciclo es notablemente mayor en la parte ascendente que la descendente. Además el tiempo empleado en llegar al máximo es

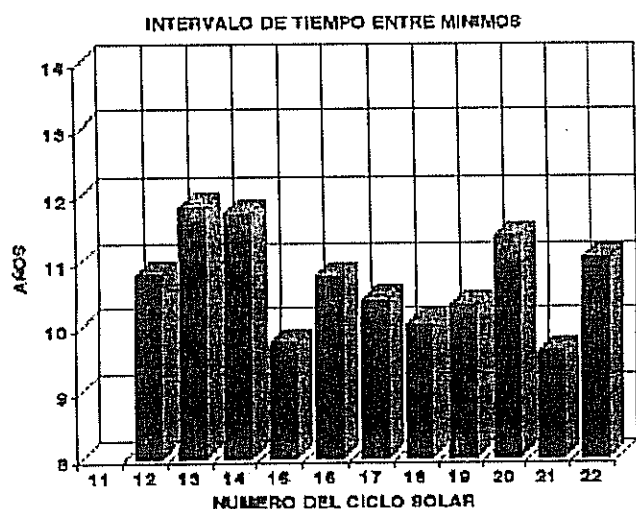


Figura 3. Variación del ciclo solar tomado a partir de los mínimos entre cada ciclo.

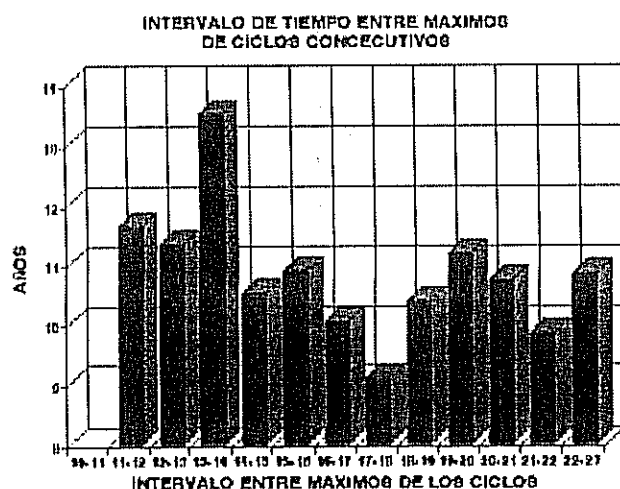


Figura 4. Variación del ciclo solar tomando como referencia el intervalo de tiempo entre máximos.

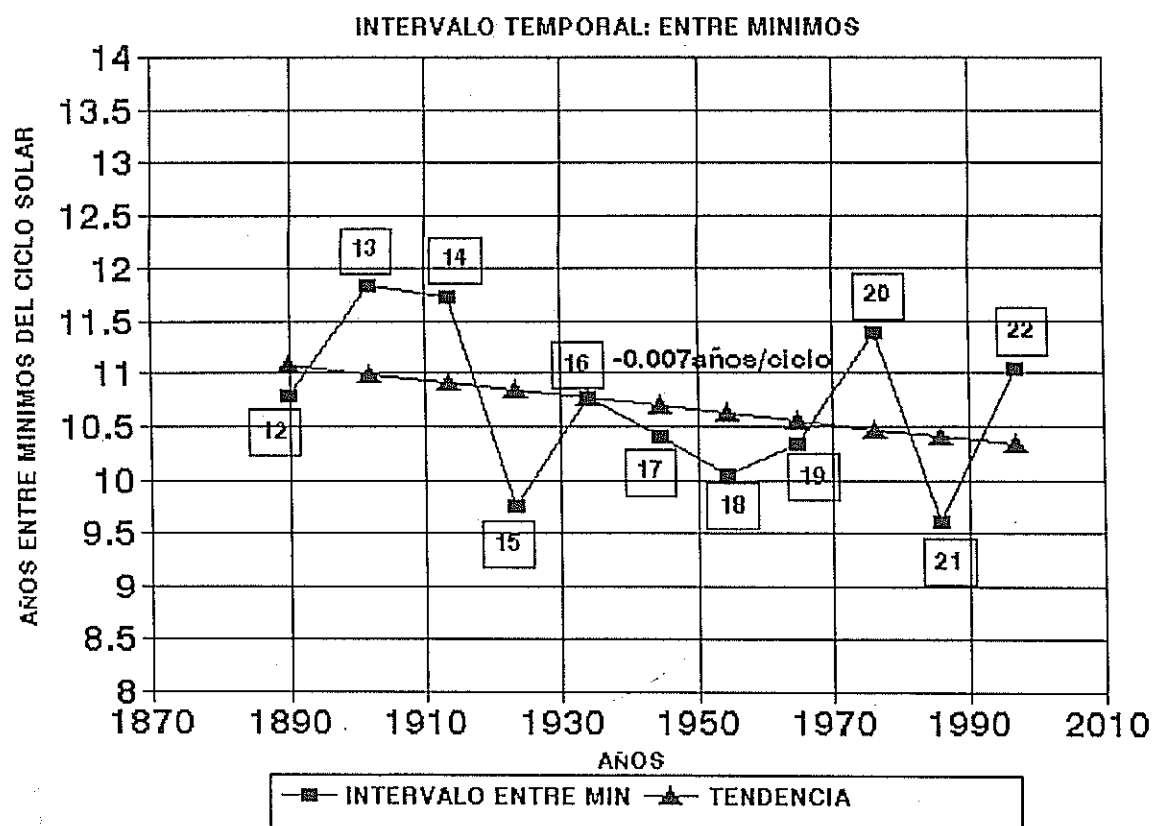


Figura 5. Tendencia lineal del intervalo entre mínimos de cada ciclo solar, donde se señala también la tasa de cambio de -0.007 años/ciclo.

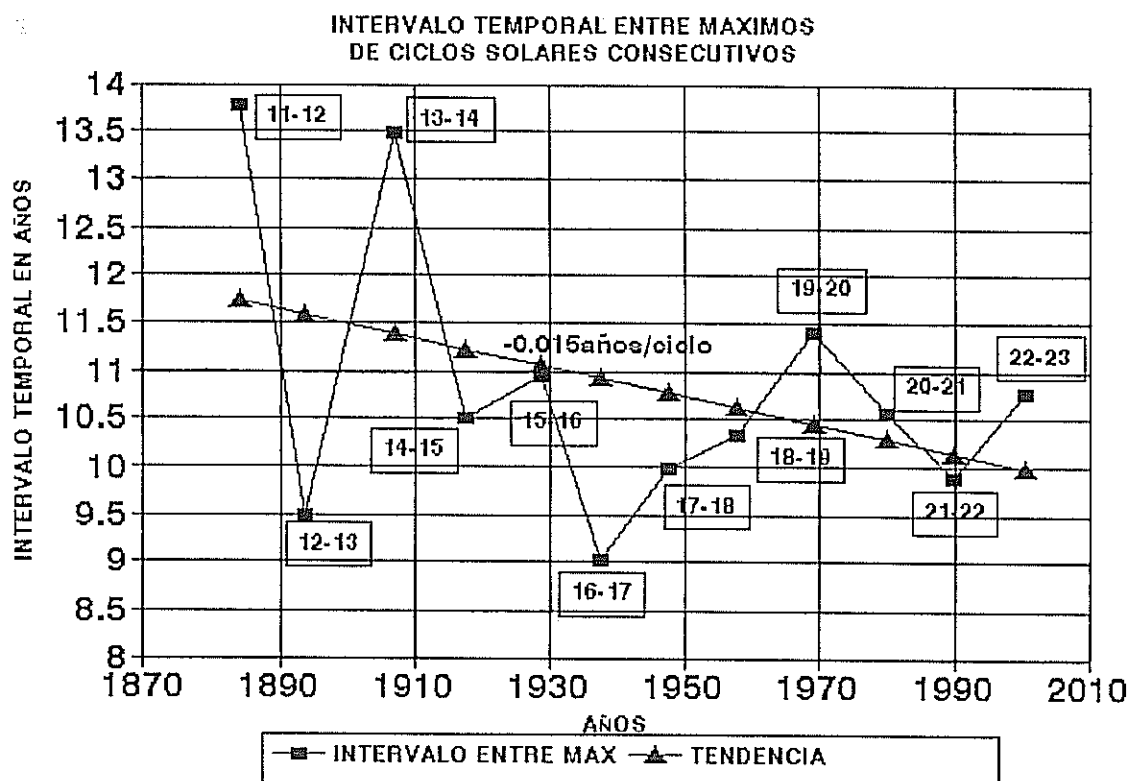


Figura 6. Tendencia lineal del intervalo entre los máximos de cada ciclo, donde se señala además la tasa de cambio de -0.015 años/ciclo.

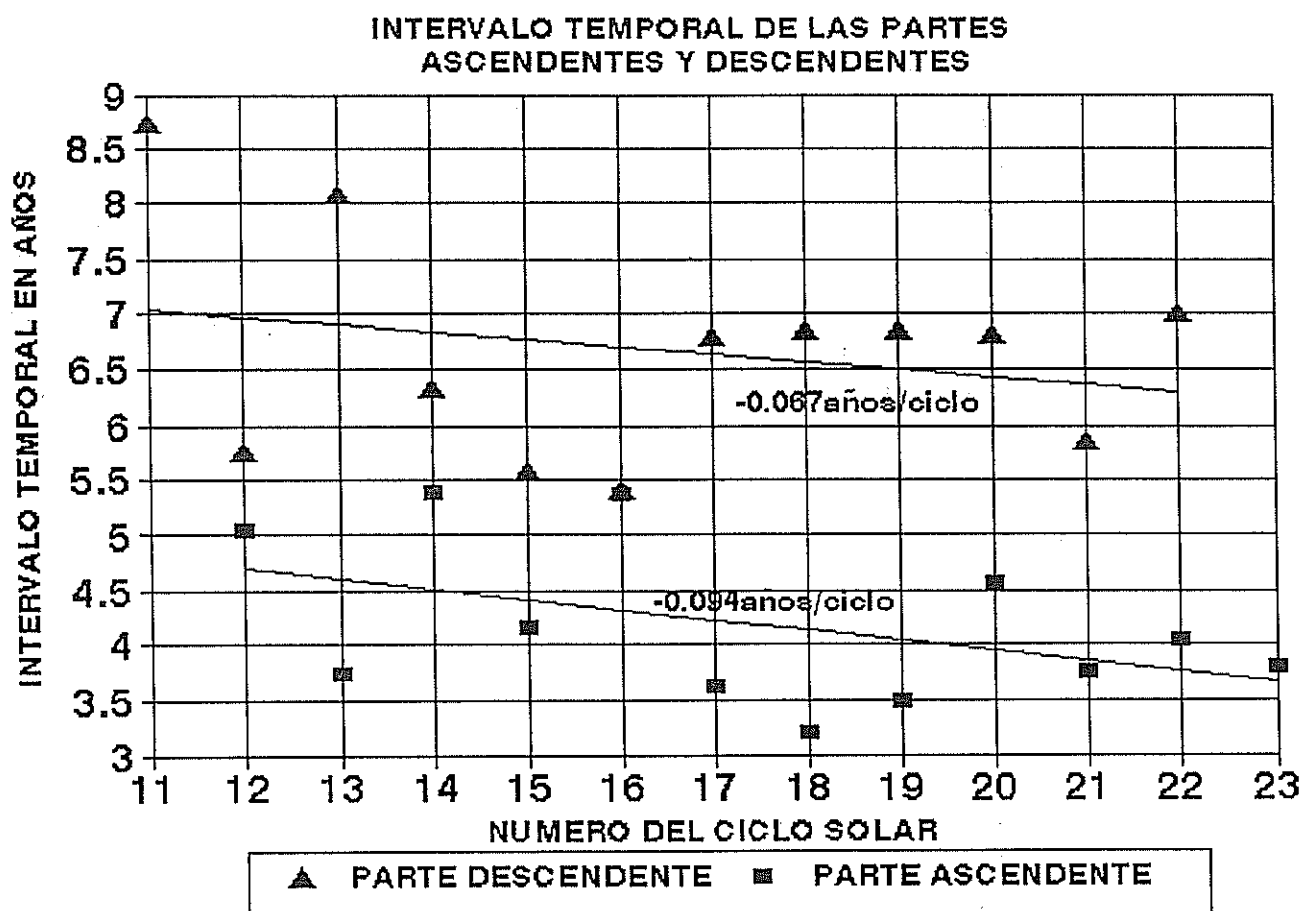


Figura 7. Tendencia de las partes descendente y ascendente de cada ciclo.

siempre menor que el tiempo empleado en llegar a un mínimo en todos los ciclos comprendidos en este estudio que abarca los ciclos solares 11 a 23. La tasa de cambio entre máximos es de aproximadamente el doble que la observada entre mínimos, lo cual podría tener una implicancia en la forma no simétrica de la gráfica del número de manchas solares.

CONCLUSIONES

Se desarrolla una metodología clásica y fácil de ejecutar, para la determinación de la variabilidad del ciclo solar. El número de manchas solares es uno de los parámetros más utilizados para la selección de otros parámetros observados en la Tierra y su espacio circundante, pero su variabilidad y en especial su pseudoperíodos, regulan gran cantidad de efectos sobre el geosistema.

La asimetría de cada uno de los ciclos registrados desde 1868 hasta el presente y su cambio en la amplitud máxima producen fenómenos en el ambiente heliofísico y geosférico. El cambio de periodicidad de las fases ascendentes y descendentes de cada ciclo nos indica que en el futuro es posible que aparezcan procesos de tipo impulsivo de los efectos solares. Es decir, el intervalo entre un mínimo y el próximo mínimo en un ciclo pueden estar muy próximos. Asimismo el intervalo temporal entre máximos al disminuir linealmente puede profundizar el aspecto impulsivo de los futuros ciclos solares.

REFERENCIAS

- Barnes J. A., Sargent H. A., Tryon P. V. 1980. Sunspot Cycle simulation using random noise, in the Ancient Sun. (Eds) Pepin R. O., Eddy J.

Sobre la variabilidad del ciclo de manchas solares

- A. and Merrill R. B. Pergamon N. Y: pp. 159-163.
- Benestad R. E. 2006. Solar Activity and Earth's Climate. (2nd Edition) Springer, Berlin. Pp. 1-316.
- Chapman S. and R. S. Linzen. 1970. Atmospheric Tides. D. reidel Pub. Co. Dordrech. Pp. 22-65.
- Eddy J. 1980. The historical record of solar activity in the ancient Sun. (Eds) Pepin R., Eddy J. and Merrill R. Pergamon N. Y. pp. 119-137.
- Faukal P. V. 2004. Solar Astrophysics. 2nd Ed. Wiley N. Y. pp. 1-406.
- Gianibelli J. C. y I. R. Cabassi. 2004. Sobre los grandes períodos del ciclo solar y la actividad magnética. Actas de la XXII Reunión Científica la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. 4 al 8 de Septiembre de 2004.
- Gianibelli J. C. y N. Quaglino. 2006. La relación entre el número de Manchas solares y la amplitud térmica en la Estación meteorológica de La Plata. Enviado a la XI Reunión de la Asociación Argentina de Agrometeorología.
- Haig J. D., M. Lockwood and M. S. Giampapa. 2005. The Sun, Solar Analysis and the Climate. Springer, Berlin. Pp. 1-425.
- Hanslmeier A. 2002. The Sun and Space Weather. Kluwer Asoc. Press. Dordrech. Pp. 1-243.
- Lang K. R 2000. The Sun from Space. Springer, Berlin. Pp. 1-357.
- Scherer K., H Fichtner, B. Heker, and V. Mall. 2005. Space Weather (The Physics Behind a Slogan). Lectures Notes in Physics 656. Springer, Berlin. Pp. 1-297.