

INFLUENCIA DE FENÓMENOS SOLARES DE PEQUEÑA Y GRAN ESCALA SOBRE EL MEDIO TERRESTRE Y EL NIÑO

Román Pérez-Enríquez

Depto. de Física Espacial, Instituto de Geofísica, UNICIT-UNAM

Apdo. Postal 15, Juriquilla, Qro. 76220

E-mail: roman@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

RESUMEN

Se estudia la influencia de la actividad del Sol sobre nuestro planeta, considerando tanto las diferentes emisiones, tales como radiación electromagnética, plasma y partículas energéticas, como las fuentes de éstas en el disco solar. Se hace una discusión sobre el origen solar de algunas perturbaciones que viajan en el medio interplanetario y llegan a la Tierra para producir tormentas geomagnéticas, sobre la importancia de las eyecciones de masa coronal (EMCs), de las protuberancias eruptivas y de las ráfagas solares en la generación de radiación, plasma y perturbaciones de gran escala, y partículas energéticas a la altura de la órbita de la Tierra, sobre la distribución longitudinal de las EMCs con respecto a la hoja de corriente heliosférica (HCH), sobre la geoeffectividad de esta HCH y, finalmente, sobre la relación entre esta actividad y fenómenos climáticos tales como El Niño.

The influence of the solar activity on our planet is studied considering the different emissions, such as electromagnetic, plasma and energetic particles, as well as their origin in the solar disk. A discussion is carried out on the solar origin of some perturbations that travel in the interplanetary medium and arrive to Earth to produce geomagnetic storms, on the importance of the coronal mass ejections (CMEs), eruptive prominences and solar flares in the generation of radiation, plasma and great-scale perturbations, and energetic particles at Earth's orbit, on the longitudinal distribution of CMEs with respect to the heliospheric current sheet (HCS), on the geoeffectivity of this HCS and, finally, on the relation between this activity and climatic phenomena such as El Niño.

INTRODUCCIÓN

El problema de la influencia de la actividad solar sobre el clima terrestre está aun lejos de ser resuelto. Se han encontrado relaciones significativas entre la variabilidad solar y algunos fenómenos troposféricos. Por ejemplo, según Paine (1983) grandes tormentas con presiones centrales de 1000 mbar están invariablemente acompañadas por un rompimiento en la tropopausa. Se observa que la altura de la troposfera, que promedia entre 10 y 16 Km, tiene una oscilación de 0.5 Km con el ciclo solar, con un pico cerca del máximo de manchas solares (Gage and Reid, 1981). No obstante, la energía involucrada es demasiado pequeña como para afectar los procesos atmosféricos de manera clara. Aunque se han sugerido varios mecanismos que indican la existencia de un vínculo entre fenómenos meteorológicos y la actividad solar (Bates, 1981; Cole, 1984; Lundstedt, 1984), no existe todavía un acuerdo en cuanto a los procesos físicos que están involucrados en las relaciones Sol-Tierra.

La radiación electromagnética del Sol es con seguridad la mayor fuente de energía del medio terrestre (Dickinson, 1986). La parte del espectro de las ondas cortas (longitudes de onda menores a 320 nm), aunque contiene una energía total pequeña, tiene suficiente energía por fotón para disociar moléculas, por lo que puede destruir células vivas (e.g., Harm, 1980), de aquí que una de las funciones de beneficio más importantes de

nuestra atmósfera sea la absorción de estos fotones energéticos. A nivel solar y, como ya vimos, estratosférico, esta radiación es sumamente variable.

La radiación electromagnética es quizá el parámetro fundamental en la relación entre el Sol y el clima. Esto está completamente avalado por el estudio realizado por Friis-Christensen y Lassen (1991) quienes encontraron variaciones de largo periodo en la temperatura de la Tierra estrechamente asociadas con variaciones en la longitud del ciclo solar, lo que parece llevar a éste como un indicador de cambios de largo periodo de la energía emitida por el Sol. No obstante, el papel que juegan las partículas energéticas y el plasma solar que llegan de manera impulsiva a las inmediaciones de la Tierra no puede ser ignorado.

Entre los fenómenos de la actividad solar que son importantes para las relaciones Sol-Tierra se encuentran, por orden de escala: las ráfagas solares que emiten radiación electromagnética en todo el espectro, especialmente radiación de alta energía y partículas energéticas, algunas de las cuales escapan al medio interplanetario y llegan a la atmósfera de la Tierra, donde son absorbidas; protuberancias eruptivas, a las que se asocian algunas emisiones de plasma y eyecciones de masa coronal, que se consideran ahora como una consecuencia del rearrreglo magnético de la corona, en donde el plasma es expulsado en grandes cantidades y, en ocasiones, a gran velocidad. Las eyecciones más veloces producen en el medio

interplanetario ondas de choque que golpean fuertemente el campo geomagnético produciendo, en condiciones adecuadas, tormentas geomagnéticas y auroras. A las ondas de choque se asocian también partículas relativistas. A menudo las eyecciones de masa coronal están asociadas con grandes ráfagas.

En este trabajo se hace una discusión sobre el origen solar de algunas perturbaciones que viajan en el medio interplanetario y llegan a la Tierra para producir tormentas geomagnéticas; sobre la importancia de las eyecciones de masa coronal (EMCs), de las protuberancias eruptivas y de las ráfagas solares en la generación de radiación, plasma y perturbaciones de gran escala, y partículas energéticas a la altura de la órbita de la Tierra; sobre la distribución longitudinal de las EMCs con respecto a la hoja de corriente heliosférica (HCH); sobre la geoeffectividad de esta HCH y; finalmente, sobre la relación entre esta actividad y fenómenos climáticos tales como El Niño.

ORIGEN DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS EN EL DISCO SOLAR Y PERTURBACIONES DE GRAN ESCALA EN EL MEDIO INTERPLANETARIO

Eventos de partículas de muy alta energía, los llamados SEPs, se observan regularmente a la altura de la órbita de la Tierra y, en ocasiones, aun en tierra, lo que se conoce como eventos a nivel terrestre (GLEs). Ahora es ampliamente aceptado que aquellos SEPs que muestran un perfil de tipo extendido o gradual son producidos por EMCs, mientras que los que presentan un perfil impulsivo son producidos por ráfagas (Reames, 1993). Más aun, de acuerdo con Reames (1995), Reames et al. (1996), las ráfagas son incapaces de producir las altas energías observadas en algunos eventos SEP. Estos resultados se basan principalmente en el estado de carga de las partículas que indican que los eventos impulsivos provienen de regiones con altas temperaturas (millones de grados), que corresponden a las regiones cromosféricas donde se producen las ráfagas, mientras que los graduales provienen de regiones coronales. No obstante, en los últimos años ha quedado en evidencia, gracias principalmente a las observaciones de rayos gamma (Chupp et al., 1982; Okudeira, 1989) y al análisis teórico de los datos (Manzhavidze y Ramaty, 1993), que protones de muy alta energía se encuentran ya presentes durante la fase impulsiva de una ráfaga solar. Simnett (1985) ha propuesto que gran parte de la energía de una ráfaga proviene de los iones supraterrmales en el rango de energía de 100 a 1000 MeV. De acuerdo con Antonucci et al. (1982, 1984), Simnett y Strong (1984), Veck et al. (1984), Simnett y Ryan (1985), Smith y Brecht (1986), existe evidencia de que puede haber aceleración de partículas a altas energías en una región activa antes de la ocurrencia de una ráfaga. De hecho, McDonald y van Hollebeke (1985) mostraron la existencia de precursores en ráfagas aproximadamente 3 horas antes de dos

ráfagas de rayos gamma: la del 21 de junio de 1980 y la del 3 de junio de 1982.

En 1985 y 1988, Pérez Enríquez propuso que algunas de las partículas atrapadas en el intenso campo magnético de un anillo coronal podían ser aceleradas para generar, después de su precipitación hacia la atmósfera solar, una inestabilidad cromosférica capaz de producir una ráfaga. En 1992, Pérez Enríquez y Durand presentaron una simulación numérica de la aceleración estocástica de una distribución maxwelliana de partículas, atrapadas en un campo magnético como el de una región activa solar. Mostraron la posibilidad de crecimiento de una cola supraterrmal en la distribución de velocidades y que la distribución angular de estas partículas es anisotrópica, es decir, inestable.

En 1995, Pérez Enríquez y Mendoza propusieron un esquema para explicar los diferentes SEPs que incluye ráfagas, EMCs y choques EMC. La función de las ráfagas es producir y acelerar las partículas; el de las EMCs es el de estirar y eventualmente abrir las líneas de campo; y el de los choques EMC el de acelerar más a las partículas y transportarlas longitudinalmente hacia el meridiano central. Esta última conclusión proviene de los resultados del estudio del retraso entre el tiempo de ocurrencia de la ráfaga posiblemente originaria del SEP y el tiempo de detección para cada uno de estos SEPs. El catálogo de SEPs proviene del Solar Geophysical Data (1992). La distribución de retrasos en longitud heliosférica se muestra en la Figura 1, en la que se observa que hay una clara tendencia de los retrasos a disminuir a medida que las fuentes supuestas tienen lugar más hacia el hemisferio oeste del Sol. Esto es reforzado por Harrison (1994), quien afirma que existe una clara asociación entre muchas ráfagas y EMCs.

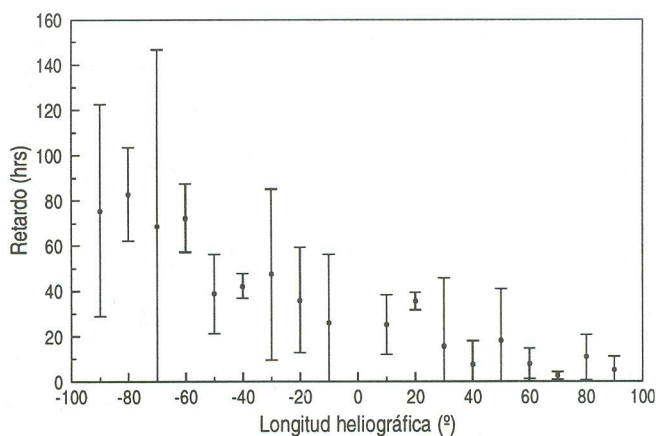


Figura 1. Distribución en longitud heliosférica de los retrasos entre el tiempo de ocurrencia en la superficie solar de la ráfaga posible fuente de un SEP, y el tiempo de detección de cada SEP en el catálogo del Solar Geophysical Data (Pérez-Enríquez y Mendoza 1995).

Generalmente se piensa que los comienzos repentinos de tormentas geomagnéticas (SCs) son causados por ondas de choque. En la actualidad, las EMCs han sido identificadas

como una de las fuentes más conspicuas de choques interplanetarios (Sheeley et al., 1985; Cane et al., 1988), no obstante que las ráfagas (Fengsi y Dryer 1991), los filamentos eruptivos (Joselyn y McIntosh, 1981) y los hoyos coronales de baja latitud (Pérez Enríquez y Mendoza, 1990; Bravo et al., 1991a, b; Bravo y Pérez Enríquez, 1994) no han podido ser descartados como posibles fuentes. En particular, Bravo y Pérez Enríquez (1994) estudiaron la posible relación espacial de 49 EMCs que estuvieron asociadas con choques interplanetarios con hoyos coronales y/o filamentos que desaparecieron. Encontraron que en la mayoría de los casos (~82%) un hoyo se encontraba entre $\pm 30^\circ$ de longitud del limbo sobre el que se observó la EMC. El posible escenario que surge es que los eventos relacionados pueden ocurrir como resultado de la desestabilización MHD de una gran región de la atmósfera solar que contenga diferentes tipos de estructuras magnéticas. Sustentados por evidencia observacional de la asociación entre choques interplanetarios y hoyos coronales, Bravo y Pérez Enríquez concluyen que las EMCs provienen de regiones magnéticamente cerradas, mientras que los choques se forman a partir de hoyos coronales.

DISTRIBUCIÓN DE EMCs CON RESPECTO A LA HCH

La asociación encontrada entre EMCs y otros fenómenos de la actividad solar indica que el campo magnético general del sol debe estar íntimamente conectado con estas eyecciones. Al analizar los lugares de ocurrencia de EMCs, tanto de las relacionadas como de las no relacionadas con choques interplanetarios, en el disco solar, Mendoza y Pérez Enríquez (1993a, b) corroboran los resultados de Kahler et al. (1987) y Hundhausen (1993) de que hay una buena asociación entre EMCs y el ecuador heliomagnético, el cual se convierte luego en la HCH (Figura 2), pero muestran que, durante periodos de máximo solar, los EMCs presentan una asociación también con regiones de campo neutro no necesariamente pertenecientes al ecuador heliomagnético. Pérez Enríquez y Mendoza (1994, 1995) encuentran también una asociación entre ráfagas relacionadas con SEPs y los casquetes coronales.

GEOEFECTIVIDAD DE LA HCH

La geoefectividad de la HCH ha sido extensamente investigada. Por ejemplo, Fengsi y Dryer (1991) mostraron que los choques tienden a propagarse más rápidamente a lo largo de la HCH, y Gosling et al. (1991) encontraron una correlación positiva entre EMCs y el índice de actividad geomagnética k_p , lo que, aunado al resultado de Mendoza y Pérez Enríquez (1993a) de que el ecuador heliomagnético, identificado con la HCH, es el lugar preferencial donde ocurren las EMCs, indica que la HCH puede jugar un papel importante en la interacción Sol-Tierra. Por otro lado, Mendoza y Pérez Enríquez (1995) estudiaron los efectos sobre la actividad geomagnética de SCs en relación con los cruces de la Tierra por la HCH y

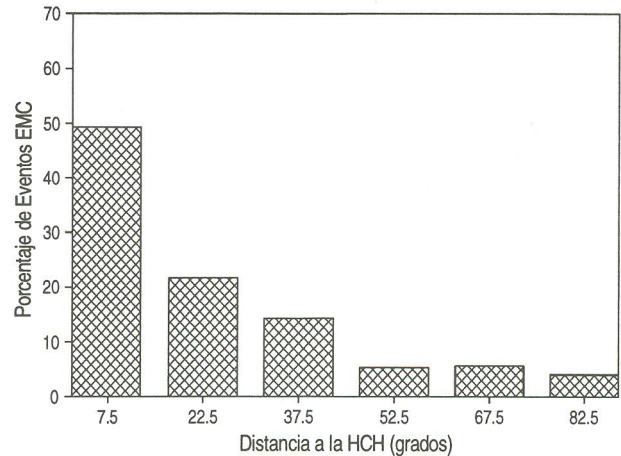


Figura 2. Distribución de distancias de EMCs con respecto al sitio en donde se genera la HCH, identificado con el ecuador heliomagnético (Mendoza y Pérez Enríquez, 1993a y b).

encontraron que la mayoría de los SCs asociados con EMCs con onda de choque asociada ocurren cuando la Tierra se encuentra cerca del cruce de la HCH (Figura 3). También encontraron que los efectos del SC sobre la Tierra son independientes de su posición con respecto a la hoja, y que no hay una diferencia significativa entre cruces de polaridad magnética positiva a negativa y de negativa a positiva. Esto contrasta con resultados previos (Pérez Enríquez y Mendoza, 1993a, b) quienes realizaron un análisis de épocas superpuestas de la intensidad del índice aa de actividad geomagnética para actividad fluctuante (tal como la describen Legrand y Simon, 1981, con datos que se remontan a 1868) de cinco días antes a 5 días después del día de referencia (día cero), el cual se toma como el día en que la Tierra cruza la frontera entre un sector heliosférico y otro. Se grafican tanto todos los eventos como por separado aquellos cruces de sector de polaridad positiva a negativa y viceversa. Los resultados de Pérez Enríquez y Mendoza (1993) indican que la actividad fluctuante es producida en 80% de los casos por este cruce pero, más aun, que el patrón de cambio de actividad quieta a fluctuante

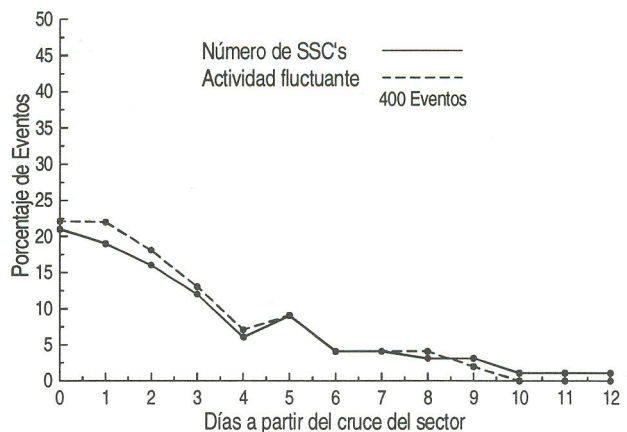


Figura 3. Distribución de la ocurrencia de SCs asociados con EMCs con onda de choque asociada ocurren cuando la Tierra se encuentra cerca del cruce de la HCH (Mendoza y Pérez Enríquez, 1995).

corresponde casi exclusivamente a cruces de polaridad magnética negativa a positiva (Figura 4).

ACTIVIDAD SOLAR Y FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS TALES COMO EL NIÑO

Como se mencionó en la Introducción de esta revisión, se han encontrado relaciones estadísticamente significativas entre la actividad solar y fenómenos atmosféricos. Por ejemplo, Friis Christensen y Lassen (1991) encontraron una cercana relación entre la longitud del ciclo solar y variaciones de las anomalías de temperatura en el hemisferio norte. Por otro lado, Labitzke y van Loon (1990) encontraron una correlación significativa entre el ciclo solar de 11 años y la oscilación casi bianual (QBO) en la atmósfera alta y baja del hemisferio norte.

En relación con el evento de El Niño (o, más correctamente, El Niño-Oscilación del Sur, ENSO), se ha mostrado que este fenómeno es producido por inestabilidades en el sistema oceano-atmósfera (Zebiak y Cane, 1987; Schopf y Suárez, 1988). Estos autores han encontrado a partir de la serie histórica de eventos El Niño compilados desde 1525 por Quinn et al. (1987) que el intervalo medio de retorno de El Niño es de ~3 años. De acuerdo con Philander (1986), no parece haber duda de que el ENSO es producido por inestabilidades en el sistema oceano-atmósfera. Cane et al. (1986) presentaron un modelo que toma en cuenta esta interacción y cuya capacidad predictiva parece estar limitada por la consideración de factores externos al acoplamiento océano-atmósfera. Al considerar el problema tomando en cuenta la posible influencia de la actividad solar en el sistema, Pérez Enríquez et al. (1989), utilizando la serie de eventos El Niño obtenida por Quinn et al. (1987) y los datos históricos de auroras, encontraron una mayor

probabilidad de ocurrencia de el El Niño alrededor de picos individuales de la actividad auroral (Figura 5). Al realizar un análisis del espectro de potencias de El Niño, Anderson (1990) encontró evidencia que muestra que menor número de eventos ocurren en tiempos en los que hay un número alto de manchas en el disco del Sol. Similarmente, Enfield y Cid (1991) y Mendoza y Pérez-Enríquez (1996) encontraron que a más largos periodos hay una marcada anticorrelación entre la actividad del Sol y El Niño (Figura 6), por lo que parece que la actividad solar, más que un proceso disparador de EL Niño, tiende más a ser un proceso inhibitor. En efecto, Enfield y Sid (1991) encontraron resultados que sugieren que cuando la actividad solar es alta los Niños fuertes ocurren aproximadamente cada 12 años, mientras que cuando la actividad solar es baja El Niño es libre de desarrollarse a una periodicidad más corta de alrededor de 8 años. Para Niños débiles, estos números son 3.5 y 3.1, respectivamente.

Al estudiar las condiciones de la actividad solar durante eventos El Niño, Mendoza y Pérez Enríquez (1991)

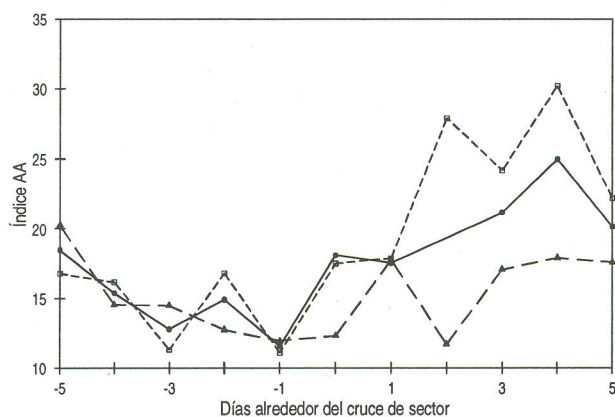


Figura 4. Análisis de épocas superpuestas de la intensidad del índice aa de actividad geomagnética para actividad fluctuante (tal como la describen Legrand y Simon, 1985) de cinco días antes a 5 días después del día de referencia (día cero), el cual se toma como el día en que la Tierra cruza la frontera entre un sector heliosférico y otro. Se grafican tanto todos los eventos (línea continua), como por separado, aquellos cruces de sector de polaridad positiva a negativa (línea cortada) y viceversa (línea punteada) (Pérez-Enríquez, 1993).

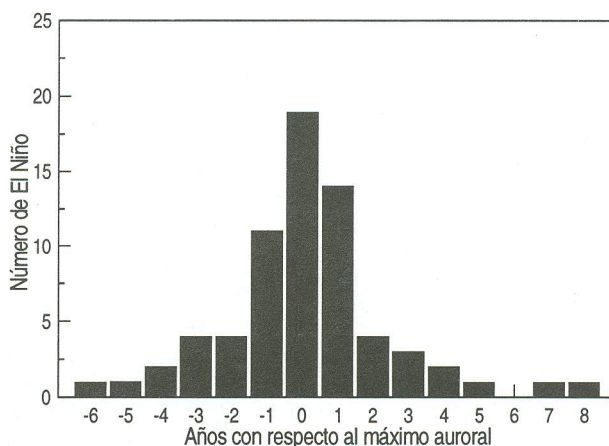


Figura 5. Distribución de ocurrencia de eventos El Niño con respecto a picos de actividad auroral (Pérez-Enríquez et al., 1989).

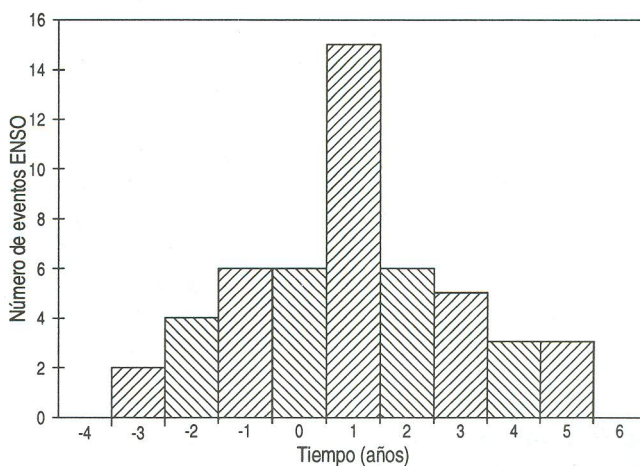


Figura 6. Histograma que muestra la distribución de eventos El Niño alrededor de la tasa máxima de desaparición de manchas en el disco solar, durante la fase descendente del ciclo solar (Mendoza et al., 1991).

encontraron que la mayoría de los eventos ocurren cuando la tasa negativa de manchas solares es pequeña y el número de manchas es también pequeño (es decir, cerca del mínimo solar). En particular, estos autores encontraron que El Niño tiende a ocurrir alrededor de 3 años antes del mínimo solar (Figura 7).

COMENTARIOS FINALES

De acuerdo con lo visto anteriormente, podemos decir que parecen existir regiones en el disco solar asociadas con los llamados cascos corales que son lugares en donde ocurren fenómenos explosivos tales como ráfagas, filamentos eruptivos y EMCs los cuales, junto con los hoyos corales, pueden generar ondas de choque en el medio interplanetario. Estas ondas de choque pueden a su vez, dadas las condiciones de interconexión adecuadas entre el medio interplanetario y la magnetosfera terrestre, tales como una componente sur del campo magnético interplanetario por varias horas, producir tormentas geomagnéticas o actividad geomagnética fluctuante y auroras.

Aunque no existe a la fecha una aceptación general acerca de la influencia que la actividad solar tiene sobre fenómenos climáticos tales como El Niño, parece ser que dicha influencia existe y se puede resumir en dos comportamientos generales: dentro del ciclo solar de 11 años la probabilidad de ocurrencia de este evento es mayor durante periodos cercanos al mínimo solar y, a más largo periodo, la ocurrencia de El Niño está anticorrelacionada con la actividad solar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en parte por CONACYT. Agradezco también las correcciones y comentarios del árbitro Enrique Gómez.

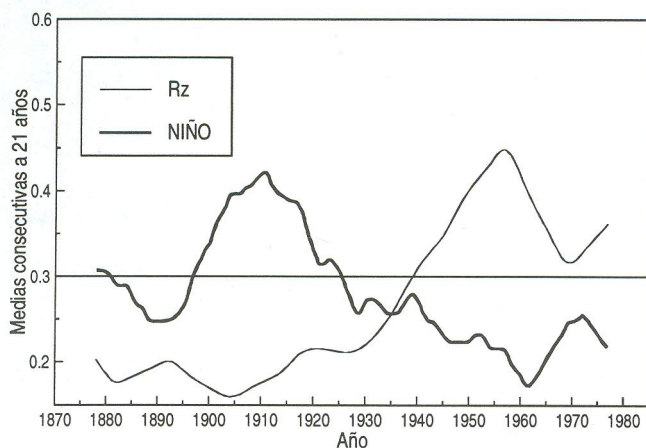


Figura 7. Comportamiento a largos periodos de el evento El Niño y actividad solar expresada a través de manchas, utilizando medias móviles de 21 años (Mendoza y Pérez-Enríquez, 1996).

REFERENCIAS

- Anderson, R.Y., 1990. Solar-cycle modulation of ENSO: A possible source of climatic change, in J.L. Betancourt and A.M. MacKay (Eds.), *Proceedings 6th Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop*, Technical Report 23, 77.
- Antonucci, E., B.R. Dennis, A.H. Gabriel and G.M. Simnett, 1985. Initial phase of chromosphere evaporation in a solar flare, *Solar Physics*, 96, 129-142.
- Antonucci, E., A.H. Gabriel and B.R. Dennis, 1984. The energetics of chromospheric evaporation in solar flares, *Astrophys. J.*, 287, 917-925.
- Bates, J.R., 1981. A dynamical mechanism through which variations in solar ultraviolet radiation can influence tropospheric climate, *Solar Physics*, 74, 399-415.
- Bravo, S., B. Mendoza and R. Pérez-Enríquez, 1991a. Coronal holes as sources of large scale solar wind disturbances and geomagnetic perturbations, *Journal of Geophysical Research*, 96, 5387.
- Bravo, S., B. Mendoza and R. Pérez-Enríquez, 1991b. Some specific cases of geomagnetic storm sudden commencements and the discussion of their possible source, *Geofísica Internacional*, 30, 23-30.
- Bravo, S. and R. Pérez-Enríquez, 1994. Coronal mass ejections associated with interplanetary shocks and coronal holes, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 28, 17-25.
- Cane, H.V., D. Reames and T.T. von Rosening, 1988. The role of interplanetary shocks in the longitude distribution of solar energetic particles, *Journal of Geophysical Research*, 93, 9555.
- Cane, M.A., S.E. Zebiak and S.C. Dolan, 1986. Experimental forecast of El Niño, *Nature*, 321, 827-831.
- Chupp, E.L., D.J. Forrest, J.M. Ryan, J. Heslin, K. Pinkau, G. Kanbach, E. Rieger and G.H. Share, 1982. *Astrophys. J. Lett.*, 263, L95-L99.
- Cole, D.D., 1986. Possible effects of solar variability on the middle atmosphere, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 46, 721-725.
- Dickinson, R.E., 1986. Effects of solar electromagnetic radiation on the terrestrial environment, in P.A. Sturrock (de.), *Physics of the Sun*, Vol. III, Reidel Publ. Co, pp. 155-191.
- Enfield, D.B. and L.S. Cid, 1991. Low-frequency changes in El Niño-Southern Oscillation, *Journal of Climate*, 4, 1137-1146.
- Fengsi, W. and M. Dryer, 1991. Propagation of solar flare-associated interplanetary shock waves in the heliospheric meridional plane, *Solar Physics*, 132, 373-394.
- Friis-Christensen, E. and K. Lassen, 1991. Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate, *Science*, 254, 698-700.
- Gage, K.S. and G.C. Reid, 1981. Solar variability and the secular variation in the tropical tropopause, *Geophysical Research Letters*, 8, 187-190.

- Harm, 1980. *Biological effects of ultraviolet radiation*, Cambridge Univ. Press.
- Harrison, R.A., 1984. *Advances in Space Research*, 86,23.
- Hundhausen, A.J., 1993. The size and locations of coronal mass ejections: SMM observations from 1980 and 1984-1989, *Journal of Geophysical Research*, 98, 13177.
- Joselyn, J.A. and P.S. McIntosh, 1981. Disappearing solar filaments: a useful predictor of geomagnetic activity, *Journal of Geophysical Research*, 86, 4555.
- Kahler, S.W., E.W. Cliver, H.V. Cane, R.E. McGuire, D.V. Reames, N.R. Sheeley and R.A. Howard, 1987. Solar energetic proton events and coronal mass ejections near solar minimum, *Proceedings of the 20th International Cosmic Ray Conference*, 3, 121.
- Labitske, K. and H. van Loon, 1990. Association between the 11-year solar cycle, the quasi-biennial oscillation and the atmosphere: a summary of recent work, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A330, 577-589.
- Legrand, J.P. and P.A. Simon, 1981. Ten cycles of solar and geomagnetic activity, *Solar Physics*, 70, 199-204.
- Lundstedt, H., 1984. Influence of interplanetary interaction regions on geomagnetic disturbances and tropospheric circulation, *Planetary Space Review*, 32, 1541-1545.
- Mandzhavidze, N. and R. Ramaty, 1993. Particle acceleration in solar flares, *Nuclear Physics B, Proc. Suppl.* 33, 141-160.
- McDonald, F.B. and M.A. van Hollebeke, 1985. Helios 1 energetic particle observations of the solar gamma-ray/neutron flare event of 1982 June 3 and 1980 June 21, *Astrophysical Journal*, 290, L67-L91.
- Mendoza, B., R. Pérez-Enríquez and M. Alvarez-Madrigal, 1990. The intense solar activity of March 1989 as a precursor for the occurrence of an ENSO by the end of 1989, *Solar Physics* 126, 195-199.
- Mendoza, B., R. Pérez-Enríquez and M. Alvarez-Madrigal, 1991. Analysis of solar activity conditions during periods of El Niño events, *Annales Geophysicae*, 9, 195-199.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1992. Solar activity and El Niño, *Geofísica Internacional*, 31, 41-46.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1993a. The association of coronal mass ejections during solar maximum times with the heliomagnetic current sheet, *Advances in Space Research*, 13, 183-186.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1993b. Association of coronal mass ejections with the heliomagnetic current sheet, *Journal of Geophysical Research*, 98, 93655-9370.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1994. Geoeffectiveness of the HCS, *Proceedings 8th ISTP Symposium*, Sendai, Part I, 25.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1995a. The geoeffectiveness of the heliospheric current sheet, *Journal of Geophysical Research*, 100, 7877-7888.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1995. The origin in the corona of SEPs associated with CMEs, *Proceedings 24th International Cosmic Ray Conference*, 4, 42-45.
- Mendoza, B. and R. Pérez-Enríquez, 1996. The occurrence rate of El Niño and its relation to solar activity, *Proceedings 4th COLAGE*, Tucumán, B-17.
- Okudaira, K., 1989. Particle acceleration as viewed from the observation of flare-associated gamma-ray emission. *Space Sci. Rev.*, 51, 117-122.
- Paine, D.A., 1983. A climate hypothesis describing the solar-terrestrial system as a frequency domain with specific response characteristics, *ESO*, June 28, 425-428.
- Pérez-Enríquez, R., 1985. On the role of energetic particles in solar flares, *Solar Physics*, 97, 131-144.
- Pérez-Enríquez, R., 1988. *The role of particle acceleration in solar flares*, M. Phil. Thesis Dissertation, Imperial College, University of London, 212 pp.
- Pérez-Enríquez, R. and H. Durand, 1992. Stochastic particle acceleration by a random electric field in coronal loops, *Geofísica Internacional*, 31, 47-49.
- Pérez-Enríquez, R., B. Mendoza and M. Alvarez-Madrigal, 1989. Solar activity and El Niño: the auroral connection, *Il Nuovo Cimento*, 12C, 223-230.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1990. A low-latitude coronal hole as the only possible explanation for the 25 November 1978 geomagnetic storm, *Journal of Geophysical Research*, 95, 10717-10719.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1993a. Geomagnetic response of the Earth to crossings of the heliospheric current sheet, *Journal of Geophysical Research*, 98, 19349-19354.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1993b. The geomagnetic response of the Earth's crossing of the heliospheric current sheet, *Advance in Space Research*, 13, 41-44.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1994. Solar energetic proton events and their relation with flares and CMEs, *Proceedings 8th ISTP Symposium*, Sendai, Part I, 13.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1995a. Distribution of SEP related flares in the solar disk, *Proceedings 24th International Cosmic Ray Conference*, 4, 46-49.
- Pérez-Enríquez, R y B. Mendoza, 1995b. The role of flares, CMEs and CME shocks in the generation of solar energetic proton events, *Solar Physics*, 160, 353-362.
- Philander, S.G.H., 1986. Predictability of El Niño, *Nature*, 321, 810-811.
- Quinn, W.H., T.V. Neal and S. Antunes-Mayolo, 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries, *Journal of Geophysical Research*, 92, 14-449.
- Reames, D.V., 1993. Non-thermal particles in the interplanetary medium, *Advance in Space Research*, 13, 331.

- Reames, D.V., L.M. Barbier and C.K. Ng, 1996. The spatial distribution of particle accelerated by coronal mass ejection-driven shocks, *Astrophysical Journal* 466, 473.
- Sheeley, N.R., R.A. Howard, M.J. Koomen, et al., 1985. Coronal mass ejections and interplanetary shocks, *Journal of Geophysical Research*, 90, 163.
- Schopf, P.S. and M.J. Suarez, 1988. Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model, *Journal of Atmospheric Sciences*, 45, 549-567.
- Simnett, G.M., 1985. *Proceedings 19th International Cosmic Ray Conference*, 4, 70-73.
- Simnett, G.M. and J.M. Ryan, 1985. *Proceedings 19th International Cosmic Ray Conference*, 4, 82-85.
- Simnett, G.M. and K.T. Strong, 1984. The impulsive phase of solar limb flares, *Astrophysical Journal*, 284, 839-847.
- Solar proton events affecting the Earth's Environment, *Solar Geophysical Data*, No. 577, Part II, p. 71.
- Veck, N.J., K.T. Strong, C. Jordan, G.M. Simnett, P.J. Cargill and E.R. Priest, 1984. The development and colling of a solar limb-flare, *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, 210, 443-462.
- Zebiak, S.E. and M.E. Cane, 1987. A model of ENSO, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2262.