

GEOS, Bol. Unión Geofís. Mex. Vol. 12 No.3
RELACION ENTRE HOYOS CORONALES POLARES, MANCHAS SOLARES
Y RAYOS COSMICOS GALACTICOS PARA LOS CICLOS SOLARES 21 Y 22

Silvia Bravo y Ana Leonor Rivera
Departamento de Física Espacial
Instituto de Geofísica, UNAM
C.U., Coyoacán, México D. F., 04510, MEXICO

RESUMEN

En un trabajo anterior, (Bravo y Otaola, 1989) se mostró la estrecha relación existente entre la evolución del área de los hoyos coronales polares y el número de manchas solares después de aproximadamente medio ciclo solar (6.3 años). En dicho estudio se encontró que, además, el número de manchas solares fue 3.3 veces el área de los hoyos polares previos. Este estudio se hizo solo para los hoyos coronales del ciclo solar 20 y se comparó con las manchas de los ciclos 20 y 21. En este trabajo se hace este mismo estudio para el área de hoyos del ciclo 21 y se compara con las manchas de los ciclos 21 y 22. Se presenta también una comparación con la intensidad de rayos cósmicos galácticos recibidos en la Tierra, la cual mostró una estrecha asociación en fase con la evolución de los hoyos coronales polares en el ciclo 20.

INTRODUCCION

El campo magnético del Sol evoluciona en forma cíclica presentan dos fases alternantes: una en la que domina una estructura poloidal y otra en la que domina una estructura toroidal. Babcock (1961) presentó un modelo en el que se describe como es que está relacionada la estructura del campo magnético del Sol a altas y bajas latitudes y como es que podrían explicarse los ciclos magnéticos solares de 11 y 22 años. Este modelo sigue constituyendo el mejor marco conceptual para el entendimiento de las características principales de la evolución magnética del Sol.

Según el modelo de Babcock, en las épocas de baja actividad solar el campo magnético del Sol se puede aproximar a un dipolo axisimétrico relativamente débil (IG). Las líneas de campo yacen en planos meridionales y emergen de la superficie sólo a latitudes mayores que $\pm 55^\circ$. Estas líneas de campo se extienden hacia afuera en la corona, cruzan el plano ecuatorial a una distancia de algunos radios solares y se conectan de regreso con el casquete opuesto. Los modelos de viento solar muestran que algunas de estas líneas, principalmente las de más alta latitud, serán arrastradas hacia el medio interplanetario por el flujo del viento y se convertirán en líneas "abiertas", constituyendo los hoyos coronales polares.

El resto del campo, según el modelo de Babcock, yace por

debajo de la fotosfera y es continuamente torcido e intensificado por la rotación diferencial del Sol. Debido a la velocidad angular de rotación mayor en el ecuador solar, las líneas de campo se van orientando progresivamente en una dirección este-oeste. El campo es, entonces, esencialmente toroidal a estas bajas latitudes y las líneas de campo cambian de dirección en el ecuador. Según el modelo, cuando el campo subfotosférico alcanza una intensidad crítica, eruptará hacia el exterior en la forma de una región activa, donde eventualmente aparecerá un par de manchas de distinta polaridad magnética y con intensidades de varios kilogauss, y la intensificación cesará entonces a esa latitud. Conforme el ciclo solar avanza, de acuerdo con el número cada vez mayor de manchas solares, es fácil observar que los hoyos coronales disminuyen su tamaño y eventualmente puede llegar a desaparecer cuando el ciclo (y el número de manchas) están en su apogeo.

Bravo y Otaola (1989) mostraron que la evolución del tamaño de los hoyos coronales polares se correlaciona con el número de Wolf de las manchas solares con $r = -0.83$ y un tiempo de retraso de 76 meses; esto es, la evolución del área de los hoyos polares fue repetida muy cercanamente por la evolución de las manchas solares 76 meses después (ver figura 1). Este análisis se hizo utilizando el tamaño de los hoyos coronales polares en unidades de 75 grados cuadrados (unidades rectangulares de 15 grados de longitud por 5 grados de latitud) durante el ciclo solar 20 (1965-1976). Los tamaños se obtuvieron de los mapas de la corona K elaborados con las observaciones del coronógrafo del High Altitude Observatory en Mauna Loa, Hawai y publicado por Hundhausen et al. (1980). La evolución así obtenida para el tamaño de los hoyos en ese ciclo se comparó con el número de Wolf para las manchas de los ciclos 21 y 22 publicados en el Solar Geophysical Data. Como puede observarse de la figura, los máximos de la curva de número de manchas y de la de tamaño de hoyos coronales desplazada no coinciden, sino que hay una diferencia entre ellas de dos años. ocurriendo primero el máximo de manchas. Otra cosa que se observa en esta figura es que el tamaño de los hoyos coronales es aproximadamente 3.3 veces el número de manchas.

Otra relación interesante fue la reportada por Hundhausen et al. (1980) entre el tamaño de los hoyos coronales polares y la

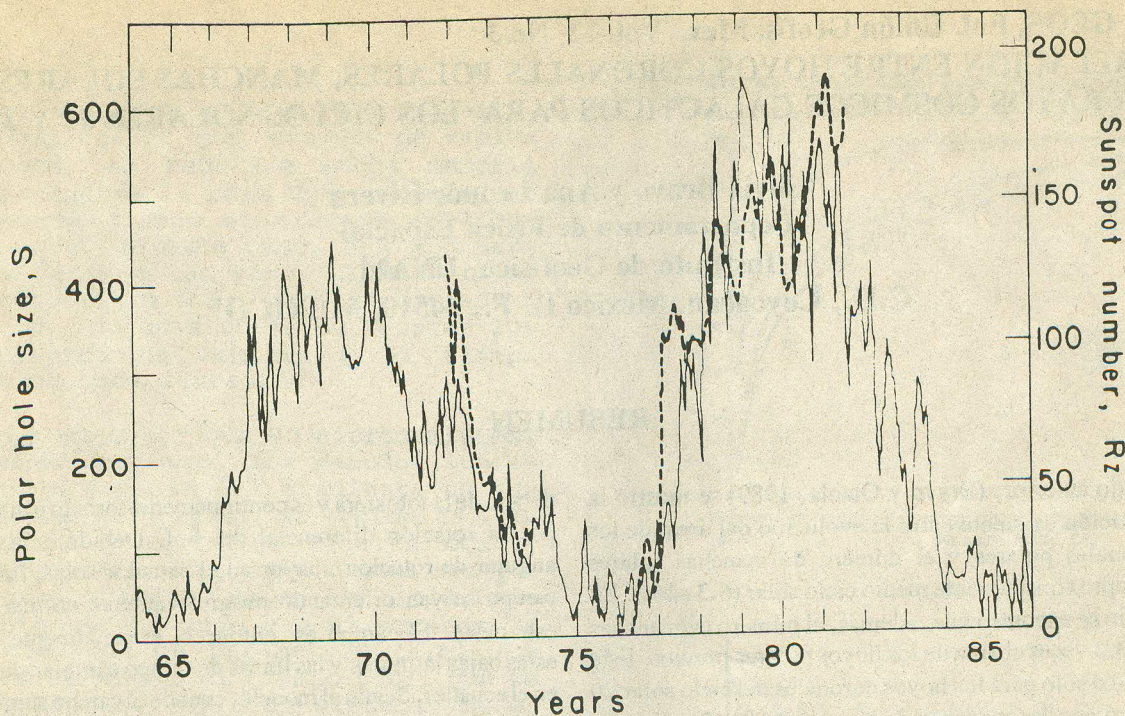


Fig. 1. Número de manchas solares (Rz) de 1964 a 1985 (línea sólida) y tamaño de hoyos coronales polares (S) de 1965 a 1975, corridos hacia adelante 76 meses (línea punteada). Tomada de Bravo y Otaola (1989).

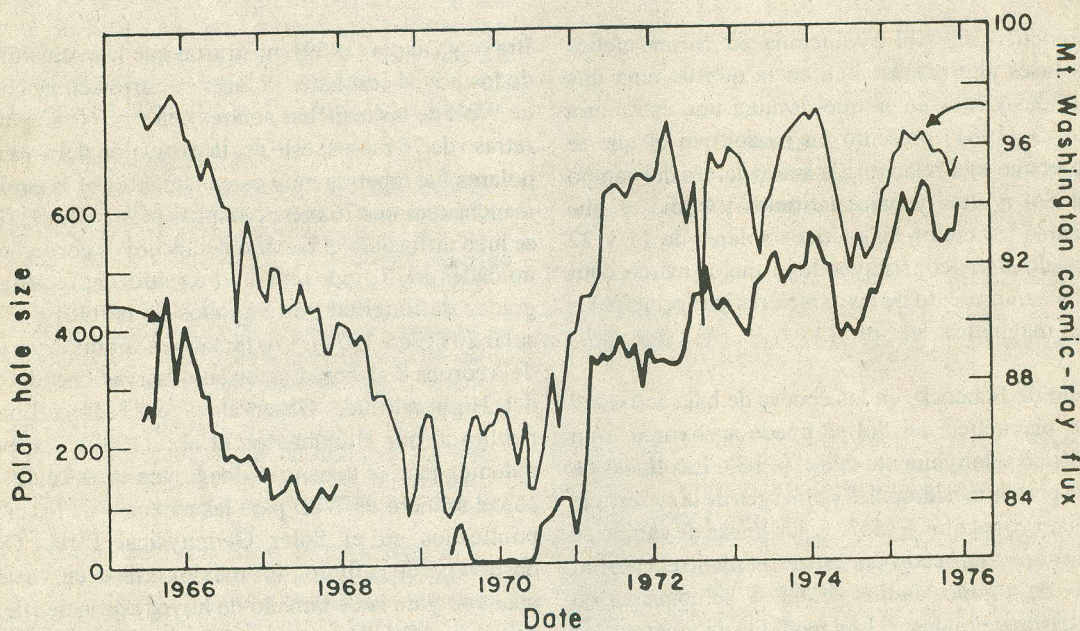


Fig. 2. Tamaño de los hoyos coronales polares (línea gruesa) y promedio mensual de conteo de rayos cósmicos normalizado en la estación de Mt. Washington (línea delgada), de 1965 a 1976. Tomado de Hundhausen et al. (1980).

GRAFICA DEL NUMERO DE MANCHAS Y

DEL AREA DE HOYOS CORONALES VS. TIEMPO

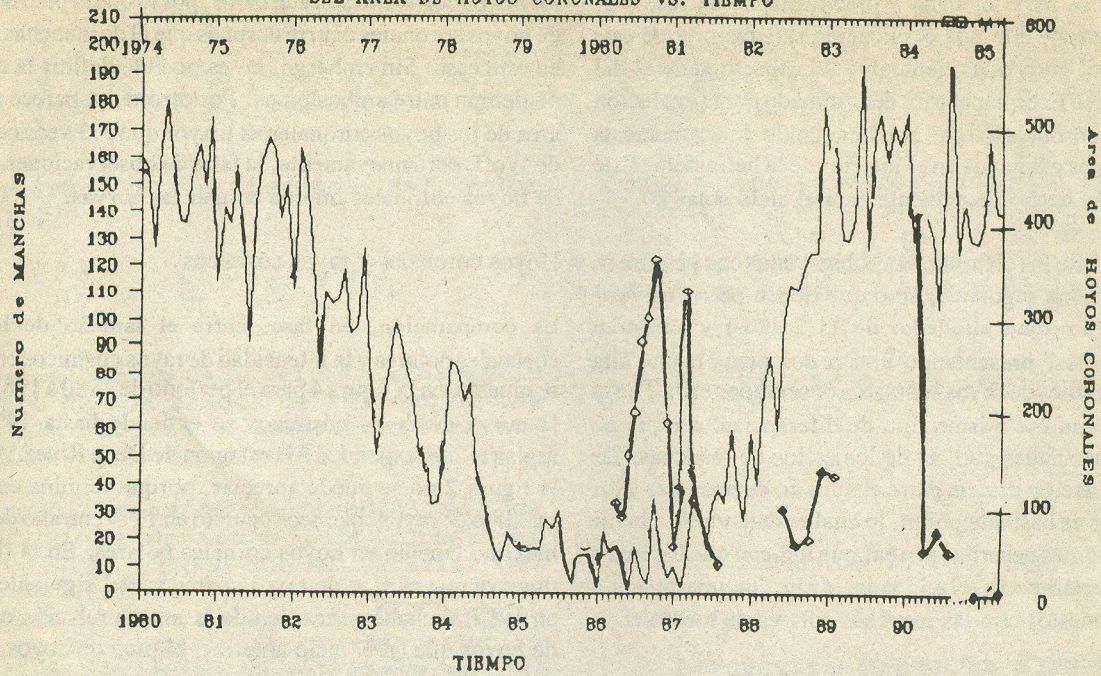


Fig. 3. Número de manchas solares de 1980 a 1991 y el tamaño de los hoyos coronales polares de 1980 a 1985, corrido 76 meses hacia adelante.

GRAFICA DE INTENSIDAD DE RAYOS COSMICOS

Y AREA DE HOYOS CORONALES VS. TIEMPO

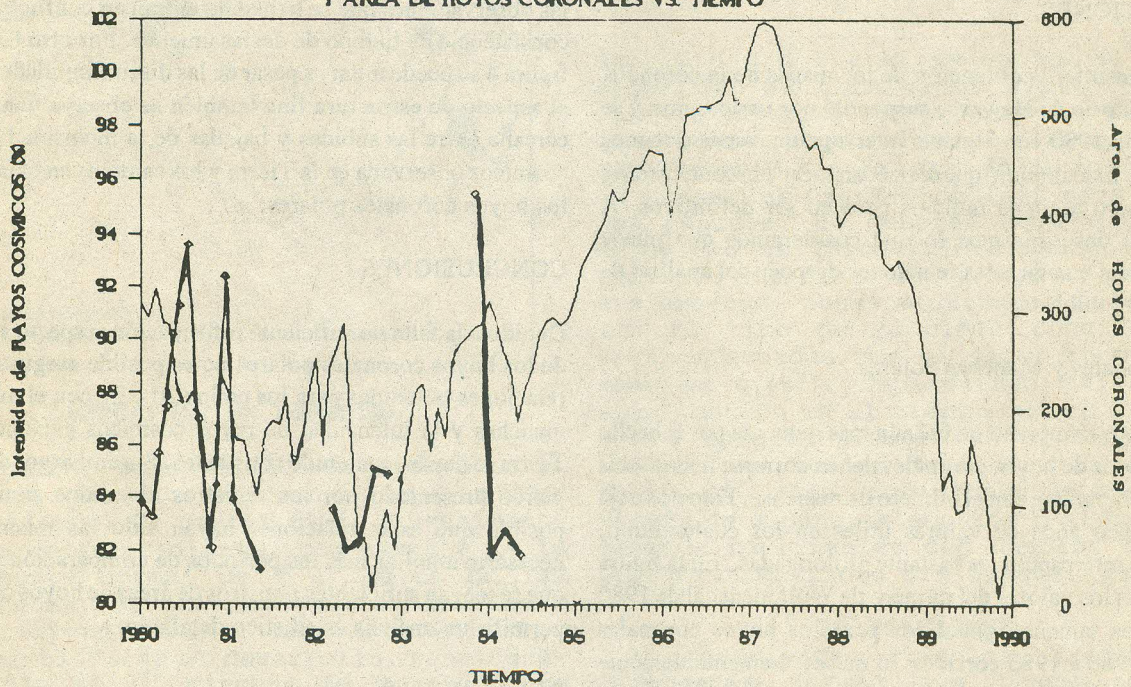


Fig. 4. Promedios mensuales de la intensidad de rayos cósmicos observada en la estación de Deep River de 1980 a 1990 y tamaño de los hoyos coronales polares de 1980 a 1985

intensidad de rayos cósmicos galácticos observados en la Tierra, la cual es muy cercana y prácticamente en fase (ver figura 2). No existe aún una explicación satisfactoria de este descubrimiento, pero es evidente que el aspecto general del campo magnético interplanetario, determinado por la evolución de los hoyos coronales, está condicionando fuertemente la cantidad de rayos cósmicos en el interior de la heliosfera. Este estudio también hecho únicamente para el ciclo solar 20.

Es bien sabido que los ciclos solares observados con el número de manchas no son regulares, sino que tienen periodos variables (que promedian alrededor de 11.2 años) y muestran perfiles diferentes, presentando uno o dos picos o una alta meseta. Los perfiles de rayos cósmicos observados en la Tierra también muestran ese mismo tipo de diferencias, aunque no directamente asociadas con las de los ciclos de manchas. De hecho, la correlación directa entre el número de manchas y los rayos cósmicos es bastante pobre, lo cual es entendible a la luz de las correlaciones descritas arriba, que indican que los rayos cósmicos deberían estar relacionados (sin ninguna relación física, por supuesto) con las manchas solares de medio ciclo después.

En vista de esta grandes diferencias de un ciclo a otro, no es posible sacar conclusiones generales respecto a las relaciones del número de manchas y la intensidad de rayos cósmicos con los tamaños de los hoyos coronales polares basándose solamente en las observaciones de un ciclo. El propósito de este trabajo es extender ambos estudios para los ciclos posteriores.

OBSERVACIONES

Desgraciadamente, la obtención de los mapas de la corona K en el observatorio de Hawai se suspendió por varios años y se reanudó hasta 1980 con algunas interrupciones más o menos prolongadas. Esto impidió que se puedan sacar aún conclusiones confiables pero algunos indicios parecen ser definitivos. A continuación describiremos lo que consideramos que puede decirse de cada una de estas relaciones después del análisis de los datos disponibles.

Hoyos Coronales y Manchas Solares

En este caso, la comparación fué aún más reducida por el hecho de que los datos de hoyos coronales deben correrse más de seis años para compararse con el número de manchas. Esto nos deja con solo cinco años de valores útiles en los cuales hubo, además, dos interrupciones bastante prolongadas. En la figura 3 se muestran los valores del número de Wolf mensual de 1980 a 1991 y los tamaños obtenidos para los hoyos coronales polares de 1980 a 1985 corridos 76 meses. Lamentablemente durante el período de mayor tamaño de los hoyos no hubo registros, los cuales serían los comparables con el máximo de manchas solares en 1990. Pero a pesar de esto sí puede apreciarse que a finales de 1988, cuando el número de manchas

alcanza su primer pico, los valores desplazados de la áreas de los hoyos coronales son aún bajos, por lo que el pico desplazado de hoyos coronales ocurre después que el de manchas, también en este caso. Sin embargo, no es posible definir la diferencia de tiempo entre ambos picos. Por otro lado, parece ser que el área de los hoyos coronales es mayor que 3.3 veces el número de Wolf, pero nuevamente, la falta de observaciones en el pico de hoyos coronales impide escalar las curvas.

Hoyos coronales y rayos cósmicos

La comparación, en fase, entre el tamaño de los hoyos coronales polares y la intensidad de rayos cósmicos en la Tierra se muestra en la figura 4 para el período de 1980 a 1985, aunque la curva de rayos cósmicos se extiende hasta 1990. Estos registros corresponden a la estación de Deep River. Aunque en la figura 2 no se puede apreciar, porque termina en 1976, el máximo de rayos cósmicos ocurrió en 1977, un año después del máximo tamaño en hoyos coronales polares. En la figura 4 se observa que el pico de rayos cósmicos del siguiente ciclo fue en 1987; de haberse mantenido la misma relación con el área de hoyos que en el ciclo anterior, el pico de hoyos coronales debió haber ocurrido en 1986, pero no se tienen los datos. Sin embargo, es interesante notar que si la distancia entre los picos del número de manchas y de tamaños desplazados de hoyos se conservara, el pico de hoyos también debería haber estado en 1986, por lo que si el máximo tamaño de hoyos coronales polares ocurrió en 1986 satisfaría una constancia de ambos desfases para los diferentes ciclos. La falta de datos en esas fechas no nos permite asegurar nada, pero por lo menos las observaciones que se tienen no entran en conflicto con una consistencia de tiempo de desfase. Por otro lado, en la figura 4 se puede notar, a pesar de las discontinuidades, que en el aspecto de estructura fina también se observa una relación cercana entre las subidas y bajadas de la intensidad de rayos cósmicos observada en la Tierra y los cambios en el tamaño de los hoyos coronales polares.

CONCLUSIONES

Debido a la falta de suficiente información respecto al tamaño de los hoyos coronales polares no es posible asegurar que las relaciones obtenidas para los ciclos 20 y 21 con el número de manchas y la intensidad de rayos cósmicos galácticos en la Tierra se hayan mantenido constantes. Sin embargo, dentro del marco presentado por los registros obtenidos sigue siendo posible que estas relaciones hayan sido las mismas. Será necesario ampliar más los periodos de comparación y esperar que se tengan suficientes registros de áreas de hoyos como para permitir un análisis estadístico detallado.

REFERENCIAS

- Babcock, H.W. *Astrophys. J.*, 133, 572, 1961
- Bravo, S. y J.A. Otaola, *Solar Phys.*, 122, 335, 1989
- Hundhausen, A. J., D.G. Sime, R. T. Hansen y S. F. Hansen *Science*, 207, 761, 1980