

## *ACTIVIDAD GEOMAGNETICA Y SU RELACION CON LA DIRECCION DEL CAMPO MAGNETICO INTERPLANETARIO*

JAVIER A. OTAOLA\*

### RESUMEN

Se llevó a cabo un análisis de correlación entre las medias trihorarias de las componentes solar-magnetosféricas, norte y sur, del campo magnético interplanetario y los valores del índice de perturbación magnética Kp correspondientes al período 1964-1969, tomando en cuenta además la dirección del campo magnético en el plano de la eclíptica. Los resultados muestran que campos dirigidos hacia el Sol tienden a ser más efectivos en la producción de actividad geomagnética que campos con dirección opuesta. Los resultados se explican cualitativamente en términos de la posible existencia de una estructura helio-latitudinal, tanto de las propiedades del plasma solar, como de las del campo magnético interplanetario.

### ABSTRACT

A correlation analysis was carried out between the three hourly averages of the northern and southern solar magnetospheric components of the interplanetary magnetic field and the three hourly values of the geomagnetic Kp index, during the 1964-1969 period, with the further stipulation that the component of the interplanetary field in the ecliptic plane pointed either toward the sun or away from it. The results show that a greater geomagnetic activity is associated with fields pointing toward the sun than with fields pointing in the opposite direction. The results are qualitatively explained in terms of the possible existence of a heliographic latitude-dependence of both plasma-flow and interplanetary field polarity properties.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM*

## INTRODUCCION

Desde hace ya varios años, con el inicio de la llamada era espacial, la influencia que diferentes parámetros del medio interplanetario tienen sobre la generación de actividad geomagnética, ha sido estudiada por varios autores.

Snyder *et al.* (1963), reportaron una relación aproximadamente lineal entre la suma sobre 24 horas del índice geomagnético  $K_p$ , para  $1_0 \leq K_p \leq 5_0$ , y el promedio diario de la velocidad del viento solar. Para altas velocidades del viento solar, el índice  $K_p$  estaba mucho mejor correlacionado con la velocidad del viento solar que con otros parámetros del plasma como su densidad, flujo, presión cinética o temperatura.

Desde entonces un gran número de relaciones entre la actividad geomagnética y parámetros del medio interplanetario han sido reportados. Wilcox *et al.* (1967), encontraron una correlación positiva entre  $K_p$  y la intensidad del campo magnético interplanetario (referido como CMI en el texto). Estudios estadísticos basados en observaciones del campo magnético en el espacio interplanetario y en la magnetofunda han revelado que la componente normal del CMI también está correlacionada con la actividad geomagnética. Fairfield y Cahill (1966), Rostoker y Falthämmar (1967) y Hirshberg y Colburn (1969), entre otros, han mostrado que  $K_p$  es mayor cuando existe una componente sur del CMI. Una alta correlación existe también entre las fluctuaciones (variancia) del CMI y el índice  $K_p$  (Ballif *et al.*, 1967, 1969). Sin embargo, Hirshberg y Colburn encontraron que periodos de CMI perturbado no dan lugar a índices  $K_p$  grandes a menos que el CMI tenga una componente sur en coordenadas geocéntricas solar-magnetosféricas.

Por lo tanto, ha quedado bien establecido que la componente del CMI normal al plano de la eclíptica juega un papel importante en la transferencia de energía del medio interplanetario al interior de la magnetosfera terrestre. Arnoldy (1971) concluyó que la existencia de una componente sur, en coordenadas solar-magnetosféricas, es la principal característica del medio interplanetario responsable de la transforma-

ción de la energía del viento solar en energía de subtormentas o bahías magnéticas.

La influencia de la dirección de la componente del CMI en la eclíptica ha recibido, sin embargo, mucha menos atención. El propósito de este estudio es mostrar que, aunque de un carácter secundario, la influencia de esta componente no puede ser ignorada en futuros estudios sobre relaciones solar-terrestres.

Para esto utilizaremos al índice Kp como una medida del grado de perturbación magnética y por lo tanto, antes de pasar al análisis mismo de los datos, es necesario distinguir entre los diferentes tipos de perturbación magnética que, de una manera u otra, están relacionados con el viento solar y saber cuál de éstos influye de una manera más importante en la medición que Kp hace del grado de perturbación.

### *Perturbaciones geomagnéticas*

Entre aquellos tipos de perturbación magnética que están relacionados de una manera u otra con el medio interplanetario, hay que distinguir entre los eventos mundiales y las llamadas subtormentas magnéticas. Los primeros ocurren simultáneamente, a escala mundial, en estaciones de latitud media y baja. Los cambios en todas las estaciones son similares y suelen a veces ocurrir en serie, un evento después del otro (Fig. 1). Las subtormentas magnéticas, por otro lado, están asociadas con la actividad en las zonas aurorales. Consisten ya sea en un aumento o un decrecimiento del campo magnético local, dependiendo de la latitud de la estación y del tiempo local (Fig. 2).

Una vez que se han establecido las principales diferencias entre estos dos tipos de eventos geomagnéticos es necesario conocer cuál de éstos influye de una manera más directa en la medida que del grado de perturbación hace Kp. El índice Kp se obtiene a partir de los registros de 12 observatorios localizados entre los 48° y 63°, norte y sur, de latitud geomagnética. De aquí que el tipo de perturbación que mide Kp sea una mezcla del tipo subtormenta, que predomina a altas latitudes, y del tipo evento mundial, común a bajas latitudes.

Otro tipo de perturbación magnética, la cual merece especial

atención, es la tormenta magnética (Fig. 3). Este tipo de perturbación, aunque frecuente y conocido, es muy complejo. Puede ser visto como un arreglo ordenado, en el tiempo, de subtormentas y eventos mundiales. Una tormenta típica empieza con un evento mundial, un comienzo repentino, éste es seguido por una fase inicial, durante la cual la intensidad del campo permanece alta. Después de algún tiempo, de minutos a horas, la fase principal comienza a desarrollarse. El término fase principal se refiere al decrecimiento en la intensidad de la componente horizontal del campo en la superficie y está asociada con la aparición de una corriente anular diamagnética. Su desenvolvimiento está íntimamente relacionado con la aparición de subtormentas magnéticas (Davis y Parthasarathy, 1967). Una fase principal de gran magnitud nunca se desarrolla sin la aparición de subtormentas intensas, e inversamente, una serie de subtormentas intensas siempre está acompañada por el desarrollo, al menos en parte, de una corriente anular. Por lo tanto, subtormentas y corriente anular parecen tener un origen común en el viento solar.

De lo anterior se puede concluir que las subtormentas magnéticas son la principal causa de la actividad geomagnética, tanto en períodos muy, como poco perturbados. Las subtormentas son, por lo tanto, el principal contribuyente del índice  $K_p$ .

Una subtormenta magnética recibe su energía de la cola magnetosférica, cuyo campo magnético actúa como depósito temporal de energía del viento solar. Esta energía se va almacenando en la cola magnetosférica debido a la convección de flujo magnético del lado día al lado noche de la magnetosfera. La causa de este flujo convectivo se cree es la presencia de un campo eléctrico, a través de la cola magnetosférica, inducido por la conexión de las líneas de CMI con las del campo magnetosférico (Dungey, 1961, 1963). Cuando un punto de inestabilidad ocurre, la energía almacenada en la cola magnetosférica se disipa produciendo subtormentas magnéticas (Axford, 1969).

### *Datos experimentales*

El presente estudio abarca un período de seis años completos de datos

(1964-1969). Dicho período cubre diferentes partes del ciclo solar: el mínimo del ciclo No. 19, y las porciones ascendentes, máxima e inicio del descenso del ciclo No. 20. El análisis se restringió a todos aquellos índices  $K_p \geq 5_0$  con el fin de que los efectos debidos a la componente sur del CMI no sean opacados por ondas de choque en el medio interplanetario, corrientes anulares y otros fenómenos asociados con grandes tormentas magnéticas ( $K_p \leq 5_0$ ). Esto servirá también para confinar el análisis a períodos en los cuales la componente sur del CMI es relativamente pequeña. De esta manera se realzará el papel que puede jugar la componente acimutal (polaridad) del CMI en la generación de actividad geomagnética.

Los datos sobre la polaridad del CMI, para el período estudiado, fueron tomados de los trabajos de Wilcox (1968) y Wilcox y Colburn (1969, 1970, 1972). Para aquellos días en los cuales la polaridad del CMI era indeterminada, ésta fue asignada de acuerdo con la clasificación de días A y C de Svalgaard (1968). Los días A corresponden a días en los cuales la polaridad del CMI es positiva (CMI dirigido hacia afuera del sol) y los días C corresponden a días en los cuales la polaridad del CMI es negativa (CMI dirigido hacia el Sol).

Durante el período 1964-1969, la distribución de las direcciones del CMI en el plano meridional muestra que el campo se encuentra aproximadamente en el plano de la eclíptica, sin ningún marcado predominio de campos dirigidos hacia el norte o hacia el sur. La distribución del CMI en el plano de la eclíptica es altamente simétrica, con el ángulo más común entre los  $40^\circ$  y  $45^\circ$  (Hirshberg, 1969)

En base a estos datos se consideró, como primera aproximación, que el CMI yace en el plano de la eclíptica y, por lo tanto, la única componente sur del CMI, que interviene en la interacción viento solar-magnetosfera, será aquella que, vista desde un sistema de coordenadas solar-magnetosférico (GSM), resulte de la orientación variable de este sistema de coordenadas relativa al sistema de coordenadas solar eclíptico (GSE), en el cual el CMI parece estar ordenado.

Se ha encontrado que el mejor sistema de coordenadas para describir la relación entre  $K_p$  y la componente norte-sur,  $B_z$ , del CMI

es el sistema solar magnetosférico (Hirshberg y Colburn, 1969). Este sistema se define de tal manera que el eje X ( $X_{SM}$ ) siempre está dirigido hacia el sol; el eje Y ( $Y_{SM}$ ) se define perpendicular al dipolo geomagnético de tal manera que el plano  $X_{SM} - Z_{SM}$  contenga el eje del dipolo. El eje Z ( $Z_{SM}$ ) positivo, se escoge en el mismo sentido que el polo magnético norte. La diferencia entre los sistemas de coordenadas GSM y GSE es simplemente una rotación alrededor del eje X (Fig. 4).

Si el eje del dipolo estuviese siempre orientado perpendicular al plano de la eclíptica, el ángulo entre las líneas de fuerza del CMI y las del campo geomagnético sería siempre el mismo. Sin embargo, la inclinación del eje de rotación con respecto al plano de la eclíptica, y el hecho que el eje del dipolo no coincida con el eje de rotación, dan lugar a una relación compleja y periódicamente variable de la orientación del eje del dipolo en el espacio, relativa a la línea tierra-sol, y al plano de la eclíptica. El ángulo entre el eje  $Z_{SM}$  y el eje  $Z_{SE}$  varía diaria y anualmente debido a los  $11.7^\circ$  de inclinación del eje del dipolo con respecto al eje de rotación de la Tierra y a los  $23.4^\circ$  de inclinación de este último con respecto al eje  $Z_{SE}$ , respectivamente. La Figura 5 muestra una representación esquemática del movimiento del eje del dipolo en coordenadas GSE. Este movimiento equivale a una precesión del eje de rotación, con un periodo de un año, y a una nutación del eje del dipolo, con un período de un día. En esta forma, dependiendo del ángulo entre los ejes  $Z_{SM}$  y  $Z_{SE}$ , el cual es función de la hora del día y del día del año, así como de la dirección (polaridad) del CMI en el plano de la eclíptica, una componente sur del CMI puede ser generada en coordenadas GSM

En base a lo anterior, utilizando campos magnéticos interplanetarios, en el plano de la eclíptica, de 5 gammas de magnitud y dirigidos a lo largo de la espiral de Arquímedes en direcciones solar ( $315^\circ$ ) y antisolar ( $135^\circ$ ), se determinaron, para cada una de estas direcciones del CMI, medias trihorarias de las componentes solar magnetosféricas norte y sur para todo el año.

### *Análisis*

Con los datos mencionados en la sección anterior, se llevó a cabo un análisis de correlación entre los índices  $K_p$  ( $\leq 5_0$ ) y las dos componentes solar-magnetosféricas, norte ( $B_z > 0$ ) y sur ( $B_z < 0$ ), del CMI, dividiendo además los datos en dos grupos correspondientes a polaridades positivas y negativas del CMI a la altura de la órbita de la Tierra, es decir, períodos en los cuales la Tierra se encontraba embebida en un sector magnético interplanetario de una u otra polaridad. Estos sectores magnéticos, según hiaieron notar Coleman *et al.* (1966), parecen co-rotar con el Sol de una manera coherente y ordenada, al menos hasta una distancia heliocéntrica de 1.5 U.A. (unidades astronómicas).

Los resultados del análisis han sido resumidos en las figuras 6 y 7, las cuales representan diagramas de dispersión de los valores trihorarios  $K_p$  vs. las medias trihorarias de las componentes solar magnetosféricas norte y sur,  $B_z$ , del CMI para cada una de las polaridades de éste.

Se mencionó en la introducción que  $K_p$  está correlacionado con varios parámetros del medio interplanetario. Estos parámetros están relacionados entre sí en el mismo viento solar y por lo tanto, uno debe preguntarse cuál de éstos está directamente involucrado en la interacción del viento solar con la magnetosfera, y por consiguiente, con las fluctuaciones del campo magnético en la superficie. Hirshberg y Colburn (1969) mostraron que la componente  $B_z$  del CMI está directamente involucrada en la interacción, de aquí que en el presente estudio se haya considerado a  $K_p$  como variable dependiente y a la magnitud de  $B_z$ , norte o sur, como variable independiente, sin que esto quiera decir que no pueda haber otros parámetros que de una manera indirecta influyan en el valor promedio de  $K_p$ .

Cada punto en las figuras es el promedio de aproximadamente el 5% del número total de datos utilizados en el análisis (indicado en las figuras), y representa la respuesta promedio de  $K_p$  a una variación de 0.01 gammas en la magnitud de la componente  $B_z$  del CMI. Cada punto tiene aproximadamente el mismo error rms en el promedio de  $K_p$  ( $\bar{K}_p$ ).

Los coeficientes de correlación correspondientes a los datos de las figuras 6 y 7 son:

$$\text{CMI } (-) \text{ (Bz } < \text{ O)} = - 0.94$$

$$\text{CMI } (+) \text{ (Bz } < \text{ O)} = - 0.54$$

$$\text{CMI } (-) \text{ (Bz } > \text{ O)} = - 0.04$$

$$\text{CMI } (+) \text{ (Bz } > \text{ O)} = - 0.16$$

Las líneas rectas en estas figuras están descritas por las relaciones

$$\text{CMI } (-) \text{ (Bz } < \text{ O)} \bar{K}_p = (1.74 \pm 0.03) - (0.34 \pm 0.03) \text{ Bz}$$

$$\text{CMI } (-) \text{ (Bz } > \text{ O)} \bar{K}_p = (1.74 \pm 0.06) - (0.01 \pm 0.05) \text{ Bz}$$

$$\text{CMI } (+) \text{ (Bz } < \text{ O)} \bar{K}_p = (1.83 \pm 0.07) - (0.16 \pm 0.06) \text{ Bz}$$

$$\text{CMI } (+) \text{ (Bz } > \text{ O)} \bar{K}_p = (1.83 \pm 0.06) + (0.03 \pm 0.05) \text{ Bz}$$

y representan las líneas de regresión de  $K_p$  en  $B_z$  (norte o sur).

De los valores obtenidos para los coeficientes de correlación y de las figuras 6 y 7 se puede ver que las componentes  $B_z$  norte del CMI no son importantes en la generación de actividad geomagnética para ninguna de las polaridades del CMI. Por otro lado, el índice  $K_p$  es proporcional a la magnitud de la componente  $B_z$  sur del CMI para ambas polaridades del CMI.

Como el número de puntos usados para calcular los coeficientes de correlación, entre  $K_p$  y  $B_z$  sur, para ambas polaridades del CMI, fue pequeño ( $N = 20$ ), una estimación de la significación estadística de estos coeficientes puede ser hecha utilizando la prueba de significación "t" de Student. Esta prueba nos da la probabilidad de obtener esos coeficientes de correlación si  $K_p$  y  $B_z$  sur fuesen independientes. Para ambas polaridades del CMI las probabilidades de obtener los valores anteriores, siendo  $K_p$  y  $B_z$  sur independientes fueron mucho menores de 1 en 100, indicando que los coeficientes de correlación obtenidos en el análisis son estadísticamente significativos a un nivel de confiabilidad del 99%.

Falta aún conocer si la diferencia entre los coeficientes de correlación ( $K_p - B_z$  sur) para una y otra polaridad del CMI es estadística-

mente significativa o, en otras palabras, conocer si las poblaciones de donde se obtuvieron estos resultados son independientes. Utilizando la transformación de Fisher (Yule y Kendall, 1967) se encuentra que la diferencia entre los dos valores de los coeficientes de correlación es estadísticamente significativa a un nivel del 99%. De hecho, la probabilidad de que esta diferencia pueda haber resultado al azar es de 0.04%, es decir, la diferencia entre los coeficientes de correlación, correspondientes a las polaridades positiva y negativa del CMI, se debe a razones físicas y no a razones estadísticas.

## DISCUSION

El hecho de que  $K_p$  y  $B_z$  sur estén mejor correlacionados cuando el CMI está dirigido hacia el Sol (polaridad negativa) sugiere que campos magnéticos interplanetarios con esa configuración juegan un papel más importante en la transferencia de energía del medio interplanetario al interior de la magnetosfera. Como el parámetro más importante en la interacción viento solar-magnetosfera resulta ser la cantidad de flujo magnético, con componente sur, que es traído hacia el frente de la magnetosfera por unidad de tiempo, las implicaciones de la sugerencia hecha arriba son, ya sea que:

- 1) las líneas del CMI tengan una mayor componente sur cuando el campo está dirigido hacia el Sol; o que
- 2) exista una mayor velocidad del viento solar cuando el CMI está dirigido hacia el Sol.

Para entender estas dos sugerencias es necesario estudiar la dependencia con la latitud heliográfica, tanto de la polaridad del CMI (Rosenberg y Coleman, 1969), como de la estructura de los haces de alta velocidad del viento solar (Hundhausen et al., 1971). En realidad es esta dependencia la que podría explicar la diferencia observada en la respuesta geomagnética a campos magnéticos interplanetarios de polaridades opuestas. Analizando los datos obtenidos por satélites, Rosenberg y Coleman encontraron que durante el intervalo de seis meses del 7 de diciembre al 7 de junio, cuando la Tierra se encuentra a latitudes heliográficas sur, la polaridad predominante del CMI era

positiva, igual a la polaridad del campo magnético dipolar del Sol en la región polar sur. Por otro lado, durante el intervalo del 7 de junio al 7 de diciembre las condiciones se invierten y la polaridad predominante del CMI es negativa, correspondiente a la polaridad del campo magnético dipolar del Sol en la región polar norte. Dicha variación anual en la polaridad del CMI ha sido corroborada por Wilcox y Scherrer (1972), utilizando 45 años de datos sobre la polaridad del CMI inferidas por Svalgaard (1972). O sea, la polaridad de las líneas del CMI es, esencialmente, la misma que las del campo magnético dipolar del Sol en el hemisferio en donde se originan.

Por otro lado, las mediciones hechas con satélites durante el intervalo comprendido entre 1962 y 1969, han mostrado que el CMI tiene una tendencia preferencial a apuntar hacia el Sol (Rosenberg y Coleman, 1969; Ness et al., 1971; Wilcox y Colburn, 1972). Esto llevó a Rosenberg y Coleman a sugerir que las líneas de fuerza con origen en el hemisferio norte solar (polaridad negativa) pueden haber sido empujadas a través del plano ecuatorial del Sol por un flujo de viento solar que es en promedio ligeramente sur a través de este plano. Wilcox (1965) ya había sugerido la posible existencia de una componente norte-sur, del viento solar, en base a la observación de Bell (1961) concerniente a una asimetría heliográfica norte-sur en los efectos solar-terrestres. Su sugerencia estaba también basada en diferencias del nivel de actividad entre los hemisferios norte y sur del Sol. Siscoe y Coleman (1969), han sugerido que si estas diferencias dan lugar a una anisotropía norte-sur en la presión coronal, entonces el viento solar derivado del hemisferio con mayor presión tendrá una mayor presión que aquel del hemisferio opuesto y podría expandirse hacia este último arrastrando consigo mismo al campo magnético. Como resultado de esto, existiría una componente norte o sur del campo a través del plano ecuatorial solar.

Desde 1958 el nivel de actividad del hemisferio norte solar ha sido mayor que el del sur. Por lo tanto, campos originándose en el hemisferio norte solar (polaridad negativa) pueden haber tenido, en promedio, una componente sur, a través del plano de la eclíptica, mayor que aquellos con origen en el hemisferio solar sur (polaridad

positiva). Esta situación corresponde a la primera sugerencia hecha arriba y da lugar a un incremento en la razón de transferencia de energía del medio interplanetario al interior de la magnetosfera y, por lo tanto, a un incremento en el nivel de actividad geomagnética.

En la segunda sugerencia se mencionó que la posible existencia de una mayor velocidad del viento solar durante períodos en los cuales la polaridad del CMI es negativa, podría también dar lugar a diferencias significativas en el nivel de actividad geomagnética. Hundhausen et al. (1971), utilizando los datos obtenidos con los satélites Vela, han reportado que la magnitud de la velocidad del viento solar parece tener una dependencia con la latitud heliográfica. La velocidad promedio observada a  $7^\circ$  de latitud heliográfica norte es aproximadamente un 10% mayor que la observada a  $7^\circ$  de latitud heliográfica sur. Esta asimetría norte-sur, en la velocidad del viento solar, se atribuye también al mayor nivel de actividad en el hemisferio norte solar durante el período en que se llevaron a cabo las observaciones. Es interesante hacer notar que, aunque no se ha establecido una relación física entre este resultado y la dependencia con la latitud heliográfica de la polaridad del CMI, estas dos series de observaciones sugieren que el medio interplanetario puede tener una estructura latitudinal.

Durante el período analizado en este trabajo, la mayor actividad solar fue en el hemisferio norte solar, causando, por lo tanto, que el plano que separa las dos regiones de polaridad dominante se encuentre por debajo del plano ecuatorial solar. Cuando la Tierra se encontraba a latitudes heliográficas norte, donde la polaridad predominante era negativa, la mayor velocidad del viento solar daba lugar, por lo tanto, a una mayor cantidad de flujo magnético con componente sur.

De todo lo anterior se deduce que campos magnéticos interplanetarios dirigidos hacia el Sol tenderán a inyectar una mayor cantidad de energía del viento solar a la magnetosfera y ser, por lo tanto, más efectivos, geomagnéticamente hablando, que campos con dirección opuesta.

Los resultados obtenidos en la sección anterior, cuando se conside-

ran a la luz de la posible existencia de una estructura latitudinal del medio interplanetario, muestran que la dependencia con la latitud heliográfica, tanto de las propiedades del plasma solar como de las del CMI, tiene un efecto importante en la interacción del viento solar con la magnetosfera durante el período 1964-1969.

Son ya varias las observaciones, dentro de un limitado rango de latitudes heliográficas ( $\pm 7.3^\circ$ ), que sugieren la posible existencia de una dependencia latitudinal de las propiedades del medio interplanetario. Entre otras cabe destacar, además de las ya mencionadas, la existencia de un gradiente de rayos cósmicos perpendicular a la eclíptica (Hashim y Bercovitch, 1971).

### CONCLUSIONES

El presente trabajo realza el papel que juega, en la generación de actividad geomagnética, la componente acimutal del campo magnético interplanetario, la cual, de acuerdo con los resultados obtenidos, no puede ser despreciada. Este papel parece ser válido para el período 1964-1969. Para ver si es de carácter general o puede cambiar con la inversión de polaridad magnética en las regiones polares del Sol, es necesario contar con datos de un período más extenso que cubriese al menos un ciclo magnético solar completo.

Los resultados muestran que una mayor actividad geomagnética está asociada con una configuración del campo magnético interplanetario en el cual la componente solar magnetosférica del campo es sur y la dirección de esta componente en el plano de la eclíptica es hacia el Sol, aproximadamente a lo largo de la espiral de Arquímedes. El papel que juega la componente solar magnetosférica norte-sur ya había sido sugerida por Dungey en 1961 y ha tenido desde entonces un gran apoyo observacional.

La mayor actividad geomagnética, cuando el campo magnético interplanetario está dirigido hacia el Sol, implica que una mayor cantidad de energía del viento solar penetra al interior de la magnetosfera cuando la Tierra se encuentra dentro de un sector magnético negativo. En el presente trabajo, este resultado ha sido

interpretado en base a una dependencia latitudinal de las características del flujo de plasma y de la polaridad del campo magnético interplanetario relacionada con la actividad solar.

Para el período estudiado, 1964-1969, y utilizando únicamente índices  $K_p \leq 5$ , el índice de perturbación magnética  $K_p$  es proporcional a la magnitud de la componente solar magnetosférica sur del campo magnético interplanetario. Por otro lado, los resultados también concuerdan con otros estudios en cuanto a que la generación de componentes solar magnetosféricas norte del campo magnético interplanetario, no son importantes en la generación de actividad geomagnética.

Finalmente, el presente trabajo pone de manifiesto la importancia de lanzar satélites artificiales, fuera del plano de la eclíptica, que nos permitan cambiar nuestra visión bidimensional de las propiedades del medio interplanetario, a una visión tridimensional que nos permita investigar más a fondo los problemas concernientes a las relaciones solar-terrestres.

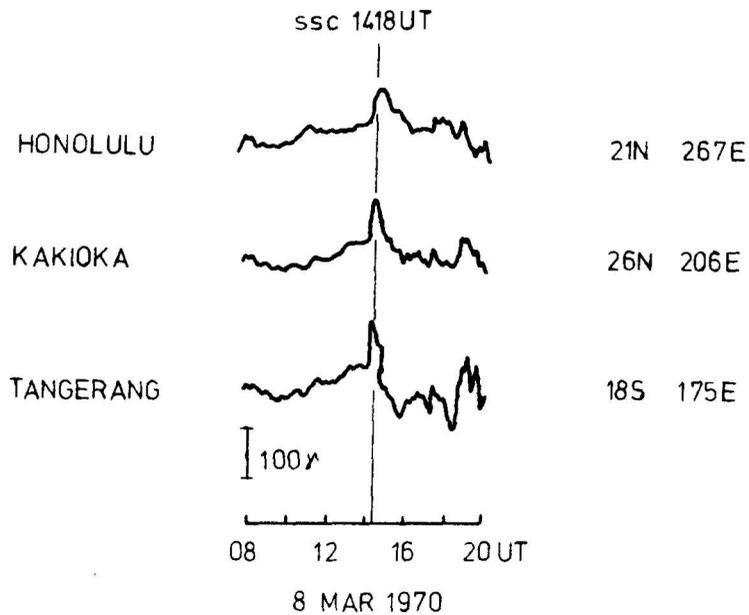


Figura 1. Evento mundial en la componente horizontal del campo magnético, medido en la superficie, en tres estaciones de latitud baja (Solar Geophysical Data).

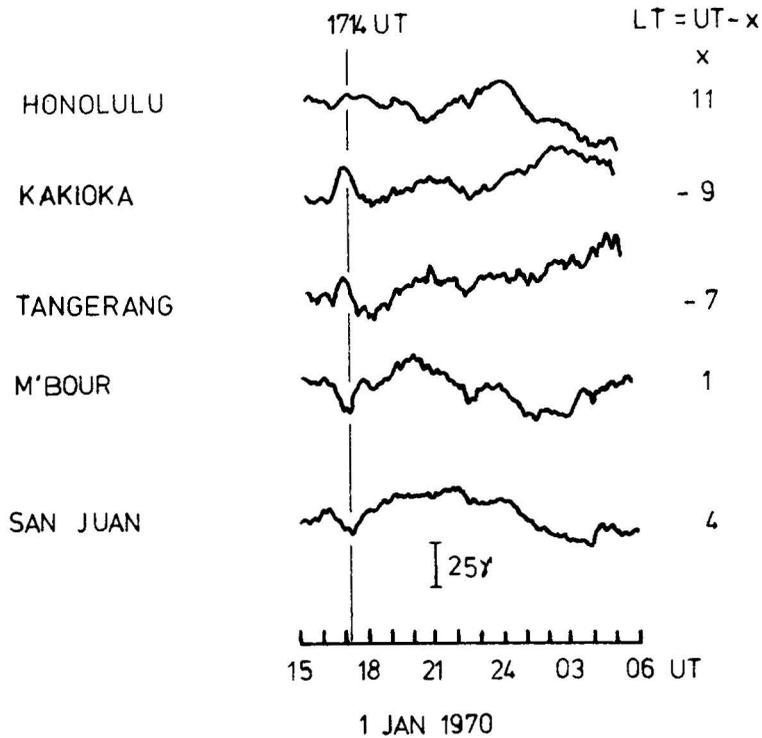


Figura 2. Subtormenta geomagnética. Mientras que en Kakioka y Tangerang se observa un aumento en la componente horizontal, H, del campo, Melbourne y San Juan observan un decrecimiento en la misma componente (Solar Geophysical Data).

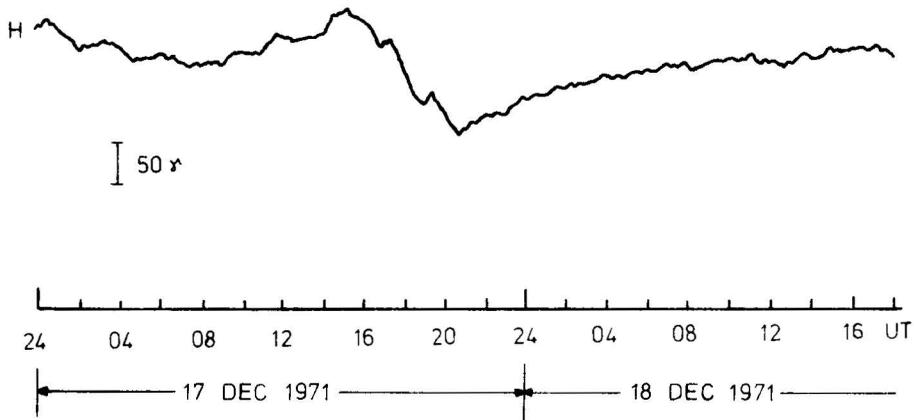


Figura 3. Tormenta geomagnética típica, vista de Honolulu (Solar Geophysical Data).

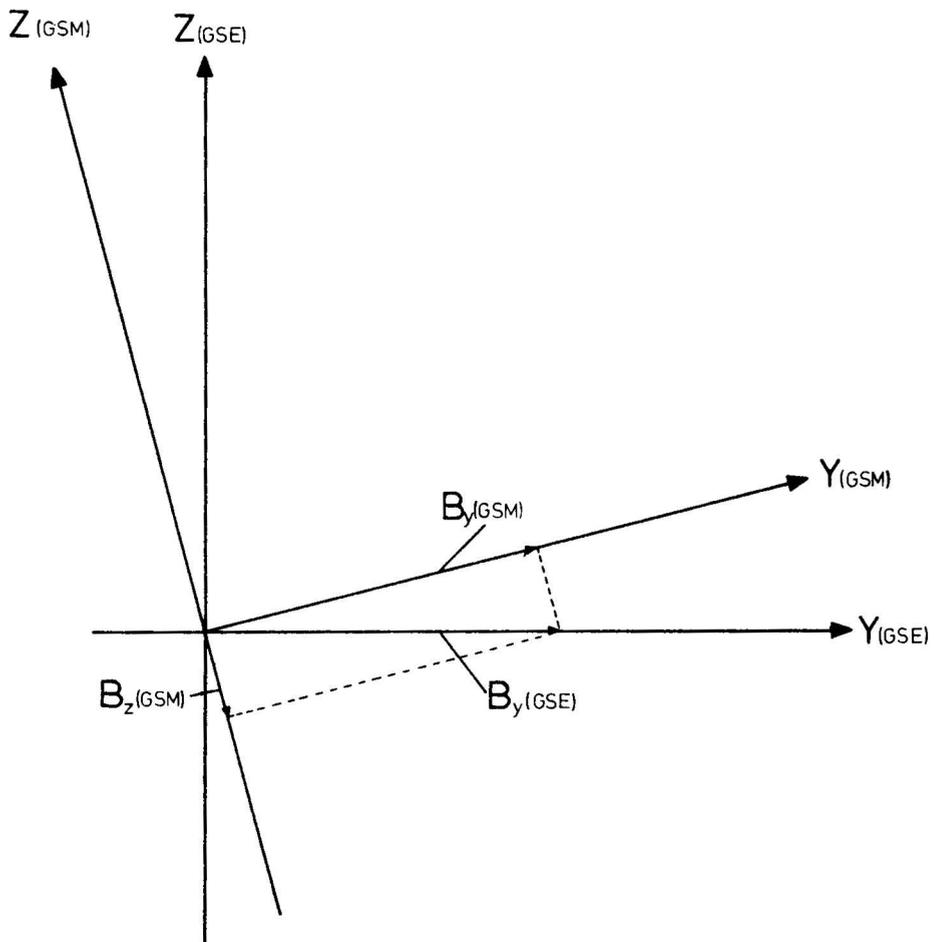


Figura 4. Proyección en un plano perpendicular a la línea Tierra-Sol de una línea del campo magnético interplanetario dirigida hacia afuera del Sol (polaridad positiva).

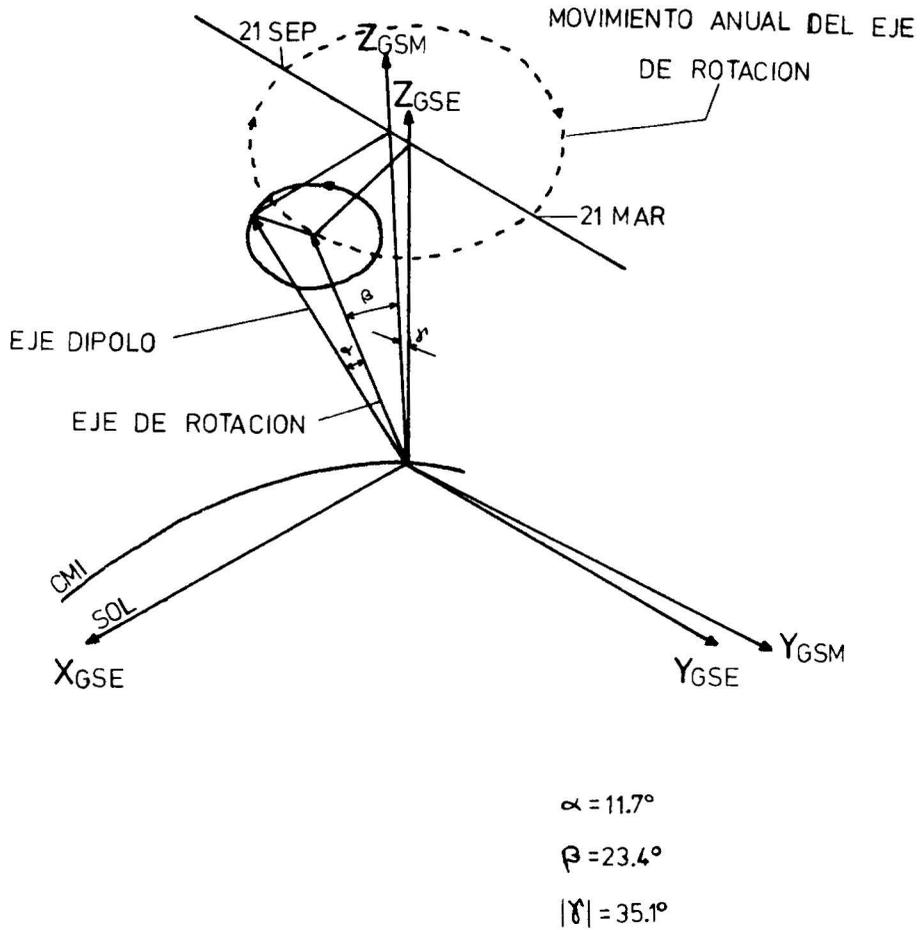


Figura 5. Precesión y nutación del eje del dipolo en coordenadas solar eclípticas (GSE).



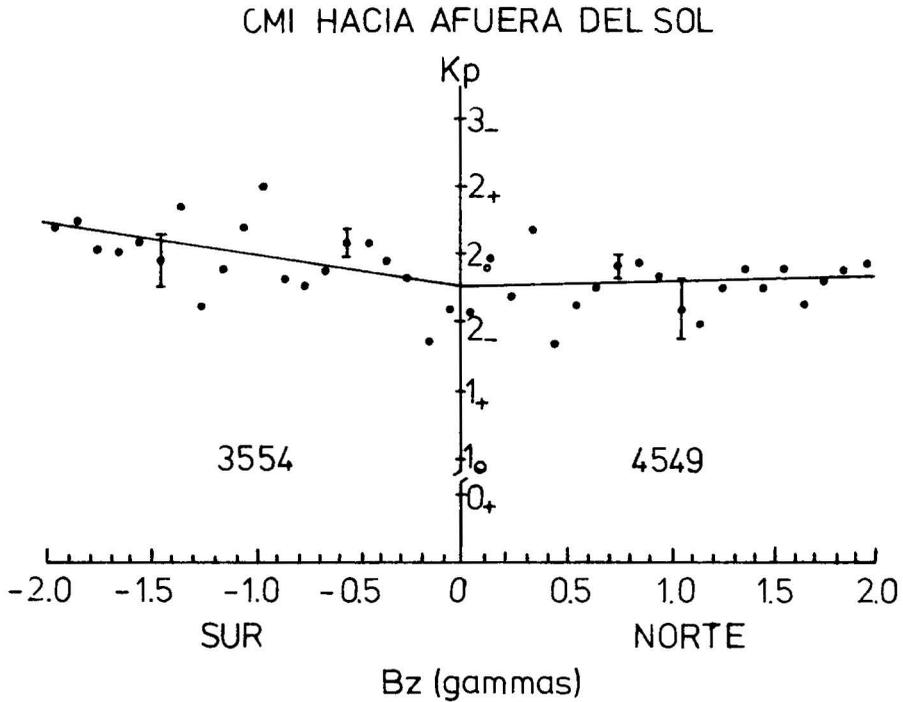


Figura 7. Diagrama de dispersión de los valores trihorarios Kp versus valores promedio de las componentes solar magnetosféricas norte-sur, Bz, del campo magnético interplanetario cuando éste está dirigido hacia afuera del Sol (Otaola, 1973).

## AGRADECIMIENTOS

Deseo hacer patente mi más profundo agradecimiento al Prof. Harry Elliot por la ayuda prestada durante la elaboración de este trabajo, el cual forma parte de mi tesis doctoral.

## BIBLIOGRAFIA

- ARNOLDY, R. L., 1971. Signature in the interplanetary medium for substorms, *J. Geophys. Res.*, 76: 5189.
- AXFORD, W. I., 1969. Magnetospheric convection, *Rev. Geophys.*, 7: 421.
- BALLIF, J. R., D. E. JONES, P. J. COLEMAN, Jr., L. DAVIS and E. J. SMITH, 1967. Transverse fluctuations in the interplanetary magnetic field: A requisite for geomagnetic variability, *J. Geophys. Res.*, 72: 4357.
- BALLIF, J. R., D. E. JONES and P. J. COLEMAN, Jr., 1969. Further evidence on the correlation between transverse fluctuations in the interplanetary magnetic field and Kp, *J. Geophys. Res.*, 74: 2289.
- BELL, B., 1961. Major flares and geomagnetic activity, *Smithsonian Contrib. Astron.* 5: 69.
- COLEMAN, P. J., Jr., L. DAVIS, E. J. SMITH and D. E. JONES, 1966. Variations in the polarity distribution of the interplanetary magnetic field, *J. Geophys. Res.*, 71: 2831.
- DAVIS, T. N. and R. PARTHASARATHY, 1967. The relationship between polar magnetic activity DP and growth of geomagnetic ring current, *J. Geophys. Res.*, 72: 5825.
- DUNGEY, J. W., 1961. Interplanetary magnetic field and the auroral zones, *Phys. Rev. Lett.*, 6: 47.
- DUNGEY, J. W., 1963. The structure of the exosphere or adventures in velocity space, in *Geophysics, The Earth's Environment*, edited by C. DeWitt, J. Hieblot y A. Lebeon, pp. 509-550, Gordon and Breach, New York.
- FAIRFIELD, D. H. and L. J. CAHILL, 1966. Transition region magnetic field and polar magnetic disturbances, *J. Geophys. Res.*, 71: 155.
- HIRSHBERG, J., 1969. Interplanetary magnetic field during the rising part of the solar cycle, *J. Geophys. Res.*, 74: 5814.
- HIRSHBERG, J. and D. S. COLBURN, 1969. Interplanetary field and geomagnetic variations: A unified view, *Planet. Space Sci.*, 17: 1183.
- HUNDHAUSEN, A. J., S. J. BAME and M. D. MONTGOMERY, 1971. Variations of solar wind plasma properties. Vela observations of a possible heliographic latitude-dependence, *J. Geophys. Res.*, 76: 5145.
- NESS, N. F., A. J. HUNDHAUSEN and S. J. BAME, 1971. Observations of the interplanetary medium: Vela 3 and IMP 3, 1965-1967, *J. Geophys. Res.*, 76: 6643.

- OTAOLA, J. A., 1973. Terrestrial effects of the interplanetary magnetic field sector structure, *Tesis Doctoral*, University of London.
- ROSTOKER, G. and C. G. FALTHÄMMAR, 1967. Relationship between changes in the interplanetary magnetic field at the earth's surface, *J. Geophys. Res.*, 72: 5853.
- SISCOE, G. L. and P. J. COLEMAN, Jr., 1969. On the north-south asymmetry in the solar wind, *Solar Phys.*, 8: 415.
- SNYDER, C. W., M. NEUGEBAUER and U. R. RAO, 1963. The solar wind velocity and its correlation with cosmic-ray variations and with solar and geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 68: 6361.
- SVALGAARD, L., 1968. Sector structure of the interplanetary magnetic field at high latitudes, Pap. 6, *Dan. Meteorol. Inst. Geophys.*, Charlottenlund, Denmark.
- SVALGAARD, L., 1972. Interplanetary magnetic sector structure, 1926-1971, *J. Geophys. Res.*, 77: 4027.
- WILCOX, J. M., 1965. On a possible north-south asymmetry in the solar wind, *Irish Astron. J.*, 7: 82.
- WILCOX, J. M., 1968. The interplanetary magnetic field: Solar origin and terrestrial effects, *Space Sci. Rev.*, 8: 258.
- WILCOX, J. M. and D. S. COLBURN, 1969. Interplanetary sector structure in the rising portion of the sunspot cycle, *J. Geophys. Res.*, 74: 2388.
- WILCOX, J. M. and D. S. COLBURN, 1970. Interplanetary sector structure near the maximum of the sunspot cycle, *J. Geophys. Res.*, 75: 6366.
- WILCOX, J. M. and D. S. COLBURN, 1972. Interplanetary sector structure at solar maximum, *J. Geophys. Res.*, 77: 751.
- WILCOX, J. M. and P. H. SCHERRER, 1972. Annual and solar magnetic cycle variations in the interplanetary magnetic field, 1926-1971, *J. Geophys. Res.*, 77: 5385.
- WILCOX, J. M., K. M. SCHATTEN and N. F. NESS, 1967. Influence of interplanetary magnetic field on geomagnetic activity during quiet sun conditions, *J. Geophys. Res.*, 72: 19.
- YULE, G. U. and M. G. KENDALL, 1967. *Introducción a la Estadística Matemática*, Madrid, Ed. Aguilar.