

RELACION ENTRE LA ACTIVIDAD GEOMAGNETICA Y LA ENERGIA CINETICA DEL VIENTO SOLAR

Julio César Gianibelli¹ y Nicolás Quaglino¹

¹ Dpto. de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
UNLP. Paseo del Bosque 1900, La Plata. Argentina.

RESUMEN.

La actividad geomagnética se encuentra determinada por índices que caracterizan la interacción del acoplamiento Viento Solar (SW: Solar Wind) - Campo Magnético Terrestre (CMT). Su finalidad es establecer la selección de los días en quietos, regulares y perturbados. Esta selección se encuentra modulada por el ciclo solar de amplitud y período variable. En este estudio se presenta el comportamiento de la actividad solar representada por la Energía Cinética del Viento Solar (ECSW) acumulada por cada rotación solar de Bartels de 27 días, caracterizada por la densidad y velocidad, en el intervalo 1998.0 hasta 2013.4. La energía cinética es correlacionada con los índices de actividad global ap , aa , y los diseñados denominados P1F para los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) de Trelew (TRW) y Las Acacias (LAS), ubicados en el borde y parte central de la Anomalía Magnética del Atlántica Sur (AMAS) respectivamente. La actividad geomagnética es también acumulada cada 27 días. Se concluye que la correlación de la actividad geomagnética representada por el índice P1F es mejor que la de los índices aa y ap calculados a partir del índice kp que se determina por escalas no lineales, a diferencia del índice P1F lineal y que puede ser determinado en forma global. Se presenta además, una discusión del sistema Sol-Tierra y su variabilidad temporal.

Palabras Claves: Geomagnetismo, Índices, Las Acacias, Observatorios, Sol, Trelew, Viento Solar.

ABSTRACT.

Geomagnetic activity is determined by indices that characterizes the coupling interaction Solar Wind (SW) - Earth's Magnetic Field (EMF). Its purpose is to establish the selection of quiet days, fair and disturbed. This selection is modulated by the solar cycle whose amplitude and period are variable. In this paper we presents the behaviour of the solar activity represented by the Kinetic Energy of Solar Wind (SWKE) accumulated every solar rotation lasting 27 days, characterized by the density and velocity of SW, in the time period 1998.0 up to 2013.4. Kinetic energy is correlated with overall activity indices ap , aa , and the new designed one called P1F for Permanent Magnetic Observatories (OMP) of Trelew (TRW) and Las Acacias (LAS), located at the edge and center of the South Atlantic magnetic Anomaly (SAMA) respectively. Geomagnetic activity is also accumulated every 27 days. It is concluded that the correlation of geomagnetic activity represented by P1F index is better than aa and ap indices calculated from kp index which is determined by non-linear scales, different of the linear scale of P1F wich can be determined globally. A discussion of the Sun-Earth system and its temporal variability is presented.

Keywords: Geomagnetism, Indices, Las Acacias, Observatories, Solar Wind, Sun, Trelew.

Introducción.

La conexión Sol-Tierra tiene antecedentes a partir de la información suministrada por los índices geomagnéticos y del número de manchas solares que evidencian una relación de importancia del fenómeno desde 1868 en que se dispone del índice geomagnético aa . A partir de 1932 se dispone del índice de actividad geomagnética kp , a partir del cual se deriva el índice ap (Mayaud 1980). Los OMP involucrados en la determinación de estos índices se muestran en la Figura 1. Mientras Campbell W. en 1989 publica

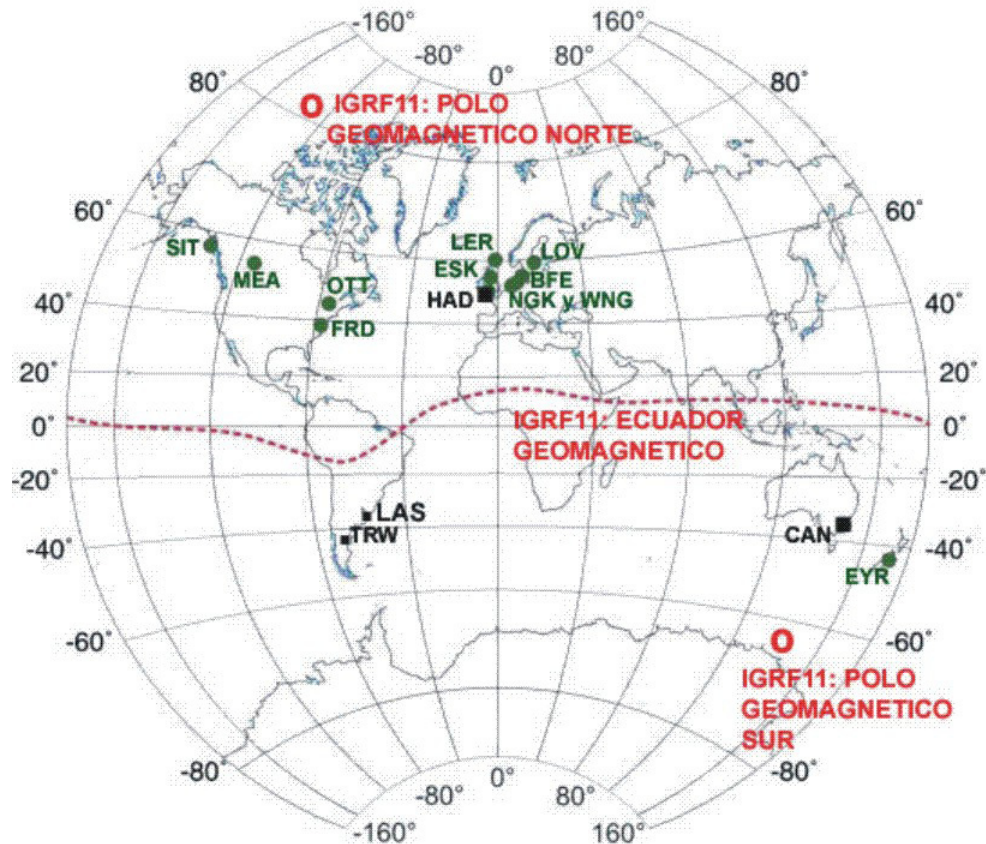
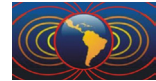


Figura 1. Ubicación de los OMP para la determinación del índice kp y ap: MEA (Meanlock), SIT (Sitka), LER(Lerwick), OTT (Ottawa), LOV (Lovo), ESK (Eskdalemuir), BFE(Brorfelde), WNG (Wingst), FRD (Fredericksburg), HAD (Hartland), NGK (Niemegk), EYR (Euyrewell), CAN (Canberra). Para el índice aa: HAD y CAN; y LAS y TRW para el índice PIF. Ubicación de los Polos Geomagnéticos y Ecuador Geomagnético determinado a partir del modelo IGRF11

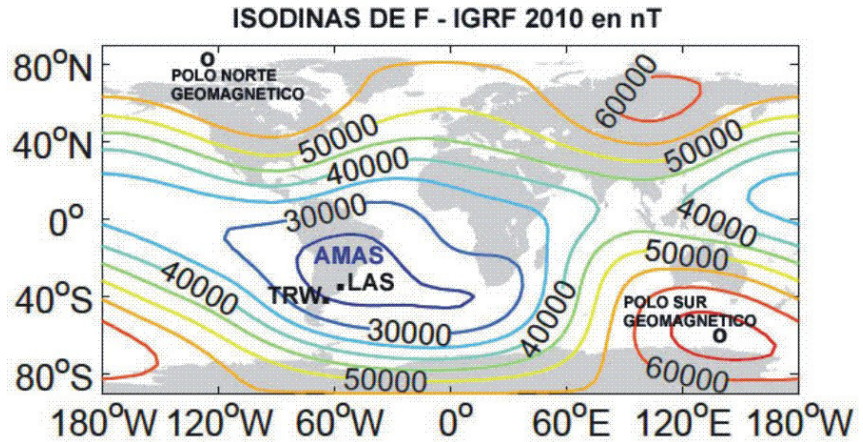
como editor de trabajos dedicados a analizar las fuentes de los días quietos para el estudio de los efectos solares y lunares registrados en los OMP; Gianibelli, Quaglino (2009) presentan un índice (PIF) basado en la intensidad total de CMT que puede ser aplicado en forma global para la determinación de los días quietos, concluyendo que el criterio adoptado en la selección de 5 días más quietos del mes no es el más adecuado para la determinación de las variaciones quietas o calmas, como también el intervalo adoptado para el análisis: el mensual.

Por otra parte Finch y Lockwood (2007) correlacionan la actividad geomagnética a través de los índices aa y ap con el viento solar cercano a la Tierra por medio de funciones de acoplamiento y sobre una gran variedad de escalas de tiempo, llegando a la conclusión que los mejores rangos de integración temporal sobre la mayoría de las funciones de acoplamiento del VS son consistentemente buenos en escalas mayores que 1 mes y mucho menos consistentes en escalas de tiempo menores a una semana. Encuentran que los máximos coeficientes de correlación se obtienen haciendo el estudio en escalas de integración de un día, una semana, una rotación solar (27 días) y mas grandes aún (1 año).

El objetivo de esta investigación es establecer funciones de acoplamiento de la actividad geomagnética determinada por los índices globales aa y ap, y el PIF determinado en los OMP de TRW y LAS ubicadas en la región de la AMAS (Fig.2) en función de la ECSW y su relación con los índices aa y ap en el intervalo 2003 – 2013.



Figura 2. Mapa de Isodinas de F determinado por el modelo IGRF11 para el año 2010.0; posición de los Polos Geomagnéticos y determinación de la región de la AMAS.



Análisis de los Datos.

Se generaron las series de tiempo en función del número de rotación solar de Bartels desde 1998 hasta el 2013.4 acumulando la actividad geomagnética de los índices aa, ap y P1F para TRW y LAS (desde 2003 al 2013.4) en unidades de nanoTeslas (nT). De la misma manera, para el intervalo 1998-2013.4, se acumuló la ECSW por cada rotación solar, determinada a partir de la información producida por la sonda ACE (Advanced Composition Explorer) de la densidad de partículas (en partículas/cm³) y velocidad (en km/s). Esta sonda se encuentra ubicada en el punto de libración L1 entre la Tierra y el Sol, a una distancia de 1,500,000 km aproximadamente desde la Tierra. También se confeccionó la serie temporal del número acumulado de manchas solares (R) en cada rotación solar.

En la Figura 3 se presenta la actividad de la ECSW y de R en función del tiempo determinado por la época central (año y parte decimal) de cada intervalo de rotación. Se observa que los intervalos de mínima actividad son no coincidentes demostrando que mientras R corresponde a una actividad propia del Sol como estrella, la variabilidad de la ECSW corresponde a la actividad del medio interplanetario con la cual se acopla con el

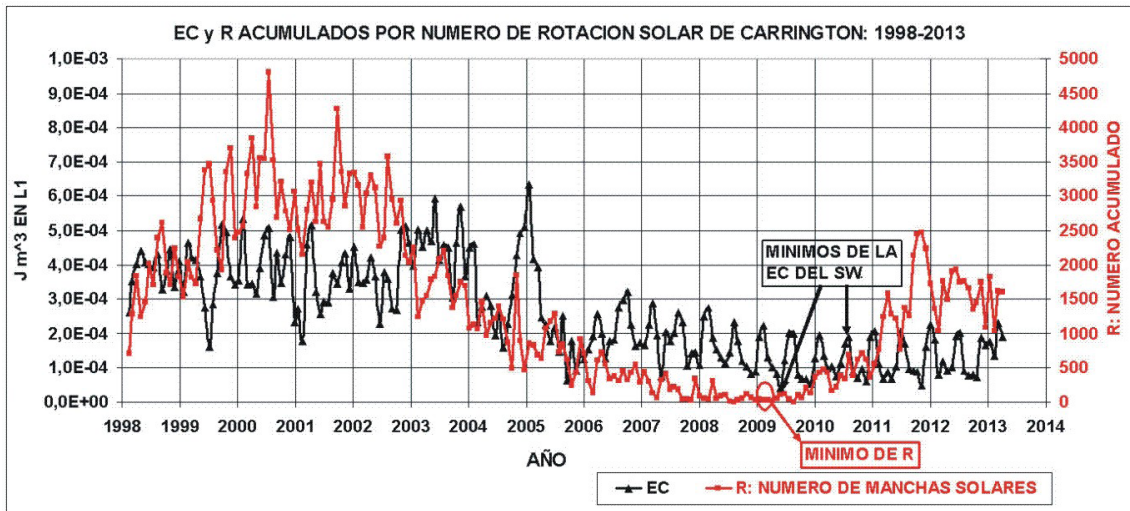


Figura3. Evolución temporal de la ECSW y R en función del intervalo temporal equivalente de cada rotación solar de 27 días



CMT y es representado por los índices globales (ap y aa) e índices individuales tal como el P1F. Los índices kp y ap están evaluados a partir de la siguiente relación de escalas trihorarias basadas en el índice kp (véase <http://www.spenvis.oma.be/help/background/indices.htm>) mostradas en la tabla 1: Al índice aa para su cálculo se aplica a los valores obtenidos el peso de 1.059 para el OMP de HAD y de 1.084 para CAN (ver fig. 1). El índice P1F esta basado en el registro digital de la intensidad total de CMT y puede ser aplicado en todos los OMP del planeta como es el caso de TRW o cualquier OMP de solo registros de F como LAS (Gianibelli, Quaglino, 2009). Su fórmula está dada por la siguiente ecuación (1):

$$P1F_{DIARIO} = \sum_1^{1440} \left| F(t_j) - \langle F_{1h}(t_j) \rangle \right| \quad (1)$$

A partir de 2003 se tienen registros de intensidad F del CMT en LAS y se presentan en la Figura 4 los valores acumulados por rotación solar de P1F para TRW y LAS, aa, ap y ECWS donde se ha amplificado en 10 la escala en nT de los índices aa y ap para observar su sensibilidad y comportamiento relativo respecto con la ECSW. Se observa el intervalo de mínima actividad 2009-10.

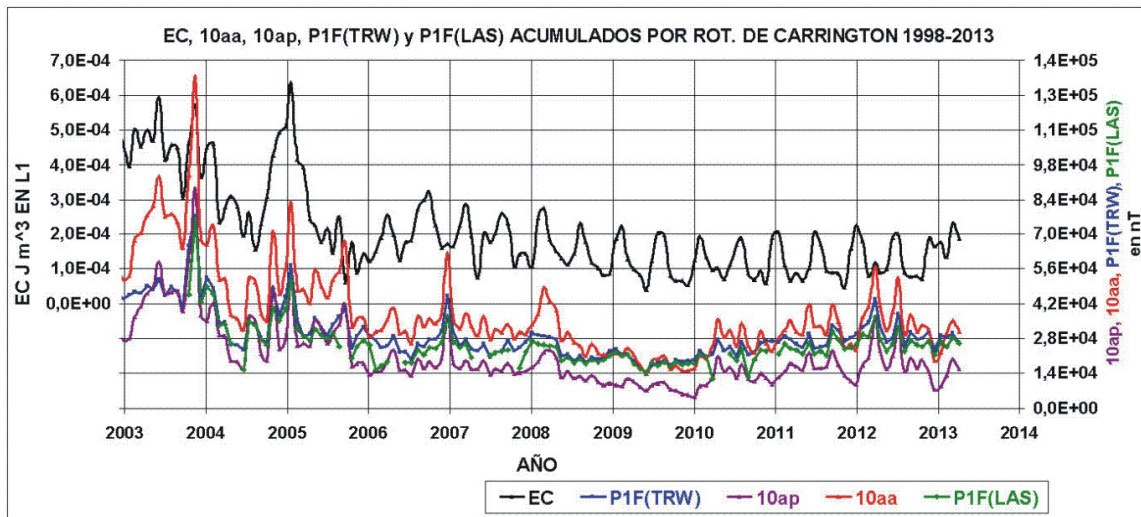


Figura 4. Gráfica de los índices 10ap, 10aa, P1FLAS, P1FTRW y la Energía Cinética del Viento Solar EC en escala temporal anual.

Resultados.

La Figura 4 muestra que la sensibilidad del índice 10 aa es notablemente mayor en comparación con los otros índices P1FTRW, P1FLAS y 10 ap, esto se debe a que solo 2 OMP intervienen en la determinación del índice aa, en especial el OMP CAN se encuentra más cercano al Polo Geomagnético Sur que su cuasiantipódico HAD (Fig. 1) a pesar del valor del peso aplicado. En cambio el índice 10ap se comporta mas suavemente y con otra respuesta, caracterizada por la distribución de los OMP ($-50^\circ < \text{latitud} < 62^\circ$) incorporando procesos de amortiguamiento del efecto de la actividad. El índice P1F de LAS y TRW que están en la región de la AMAS, omitida en la determinación del índice ap y aa, muestra respuestas diferentes respecto de los anteriores. Para observar la relación de la actividad acumulada en cada rotación solar se calculo la función de mejor ajuste (Polinomio de segundo grado) para expresar a los índices 10 aa, 10^a p, P1FTRW y P1FLAS en función de la ECSW (fig. 5).

Como resultado importante se tiene que el coeficiente de correlación es mejor para los índices P1FTRW y P1FLAS que los 10 aa y 10 ap. Las Figuras 6 y 7 muestran la relación de los índices P1FTRW y P1FLAS en función de los índices 10 ap y 10 aa mostrando que el ajuste es mejor para el P1F de TRW que el de LAS.

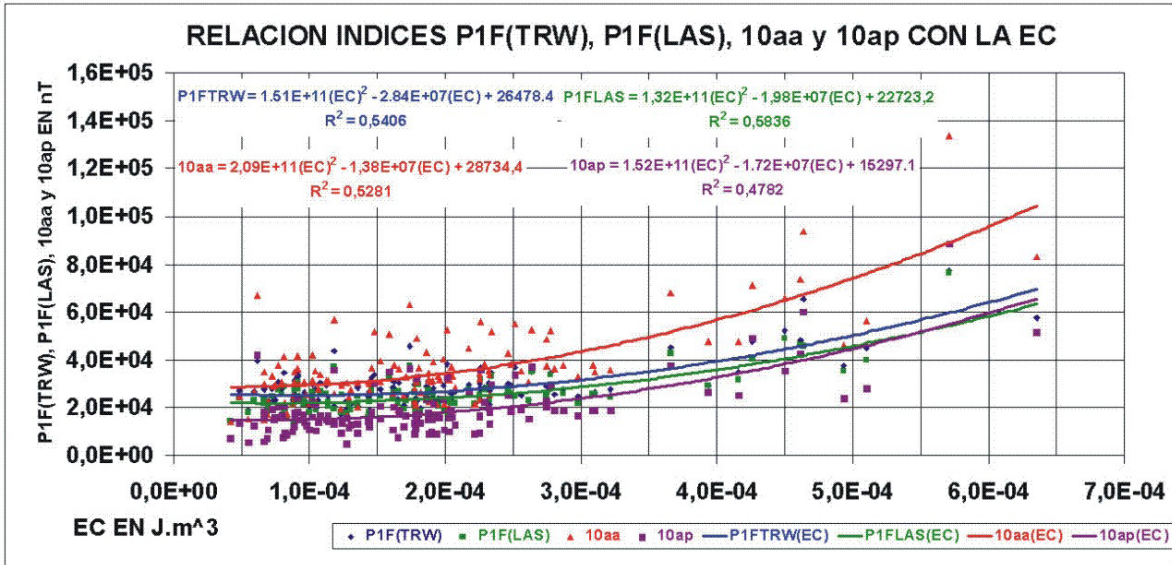


Figura 5. Índices 10ap, 10aa, P1FTRW, P1FLAS y polinomios de ajuste en función de la ECSW

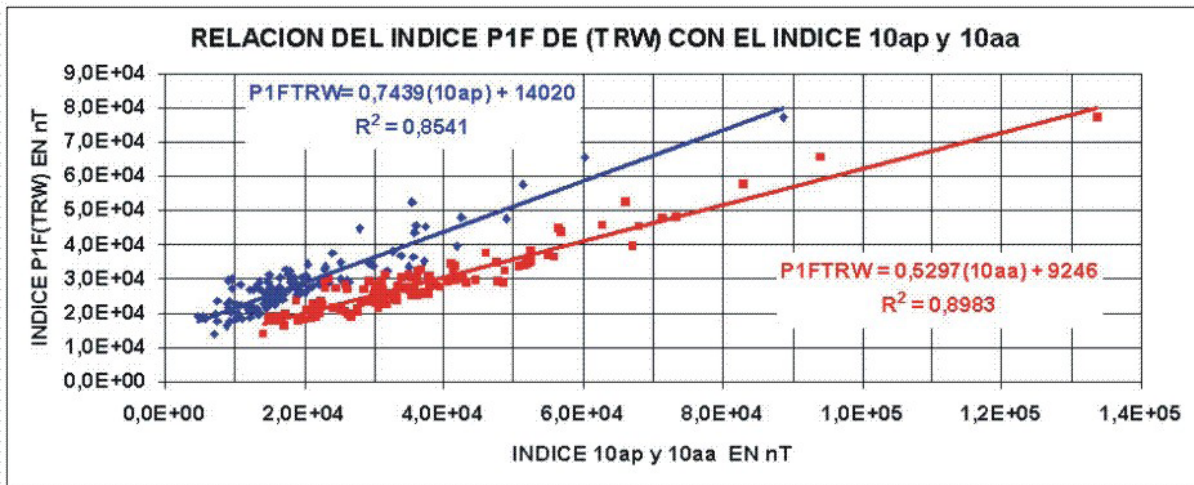


Figura 6. Relación lineal entre P1FTRW en función de 10ap y 10aa

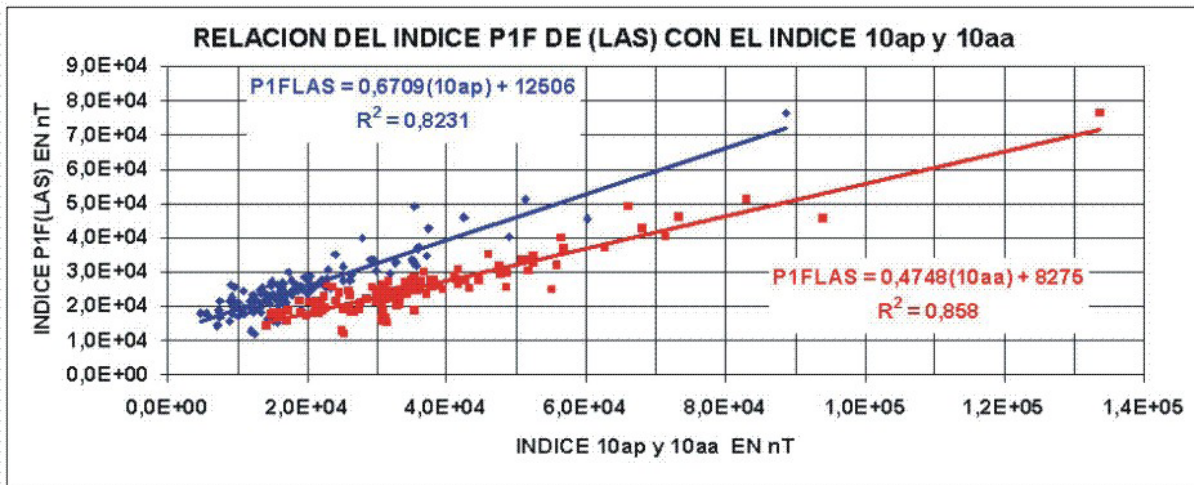
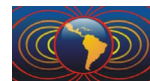


Figura 7. Relación lineal entre P1FLAS en función de 10ap y 10aa.



Conclusión.

La función de representación de los índices PIF de LAS y TRW muestran una mejor respuesta con la ECSW que el ap y aa dependientes de un índice básico como el kp. La AMAS (fig. 2) muestra su efecto al presentar menores coeficientes de correlación para el OMP de LAS que el de TRW, respecto de su ajuste con los índices 10 ap y 10 aa. La metodología del cálculo del índice PIF es más simple y es posible aplicarla en forma operativa en distintos intervalos de tiempo con ventanas de promedios temporales $\langle F_{nh}(t_j) \rangle$ variables ($1h \leq nh \leq 1h$) y determinar la perturbación de intervalos temporales mayores iguales o menores al día al aplicar el índice. También el comportamiento respecto de los parámetros de la actividad en la conexión Sol-Tierra con índices específicos en cada OMP utilizando la misma componente del CMT registrado en forma digital, tal como la Intensidad Total F, facilita comprender la respuesta del acoplamiento ECSW - Cavidad Magnetosférica - efectos de los Sistemas de Corrientes Equivalentes - CMT. Esto es posible, como se muestra en la Figura 4, cuando se toma como unidad temporal el intervalo de rotación solar 27 días. Este criterio implica otro sistema temporal en la determinación de los mínimos y máximos de los fenómenos en el sol y en el medio interplanetario, indicando que el mínimo entre los ciclos solares 23 y 24 son diferentes si se toma el número de manchas solares diario y la ECSW acumuladas en cada rotación solar (figs. 3 y 4)

Discusión Sistémica.

El sistema Sol- Tierra tiene cuatro componentes sistémicos con variabilidades diferentes y conectadas. La primera es la estrella Sol con recientes descubrimientos de cambios de su campo magnético cada 11 años aproximadamente. Este evento esta relacionado y acompañado con cambios en el número de manchas solares. La actividad solar esta caracterizada principalmente por las Eyecciones de Masa Coronal, Fulguraciones Solares, y Regiones Interplanetarias Corrotantes de Viento Solar Rápido proveniente de los denominados Agujeros Coronales. Esta fenomenología perturba la expansión de la Atmósfera Solar donde el CMT interactúa y acopla por medio de una cavidad denominada Magnetosfera. Sobre su superficie (la Magnetopausa) y dentro de ella se generan sistemas de “corrientes equivalentes” de interacción particulada e ionizante por radiación fotónica solar a niveles ionosféricos. Esta actividad se superpone a la actividad de escala temporal lenta (estimada en cambio de su aspecto dipolar en 10.000 años) del CMT. La Figura 8 muestra el cambio de la intensidad total F del CMT en 110 años mostrando que hay regiones de cambios de importancia negativos y otros positivos de menor intensidad.

Cabe entonces analizar si las técnicas de evaluación de la actividad de CMT registrada en los OMP es la adecuada con los índices actuales o depende intrínsecamente de estos lentos cambios del CMT y representan indirectamente los cambios en la conexión ECSW-CMT de ambos actores.

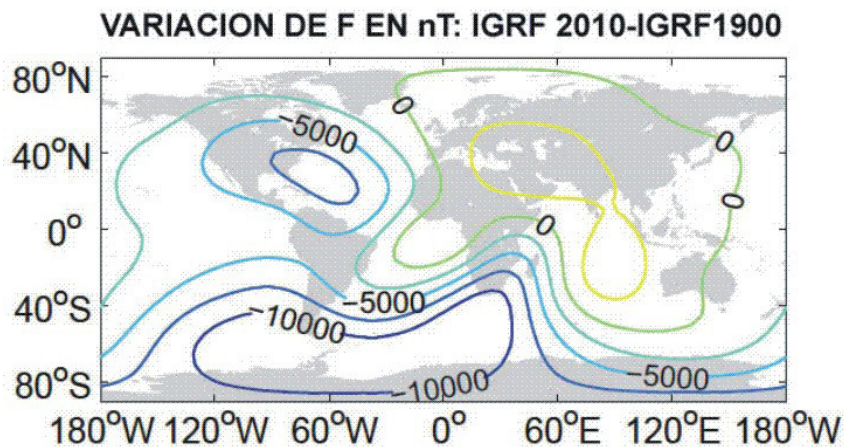


Figura 8. Cambio en la superficie de la tierra de F según el modelo IGRF multipolar del CMT



Referencias.

- Campbel W. H Editor, 1989. Quiet Daily Geomagnetic Fields. *Pageoph Vol 131*, 316-549.
- Finch I., Lockwood M., 2007, Solar wind-magnetosphere coupling functions on timescales of 1 day to 1 year. *Ann. Geophys.*, 25, 495–506.
- Gianibelli J. C., Quaglino N., 2009. La Actividad de Campo Magnético Terrestre y la Determinación de los Días Calmos. http://www.geomagnetismo.org.ar/recursos/investigacion/41_GM.pdf
- Mayaud P. N., 1980. Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices, *AGU Geophysical Monograph 22*, Washington D.C. 154 p.