



## SOBRE EL MEDIO AMBIENTE GEOMAGNÉTICO DE LA REGIÓN DEL RÍO DE LA PLATA

Julio C. Gianibelli, Nicolás Quaglino, Iris R. Cabassi y Mónica Mac William

Dep. de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque S/N, (1900) La Plata, Prov. de Buenos Aires, correo electrónico: jcg@fcaglp.unlp.edu.ar

Palabras clave: Geomagnetismo, Anomalía del Atlántico Sur, Medio Ambiente, Río de La Plata

### INTRODUCCIÓN

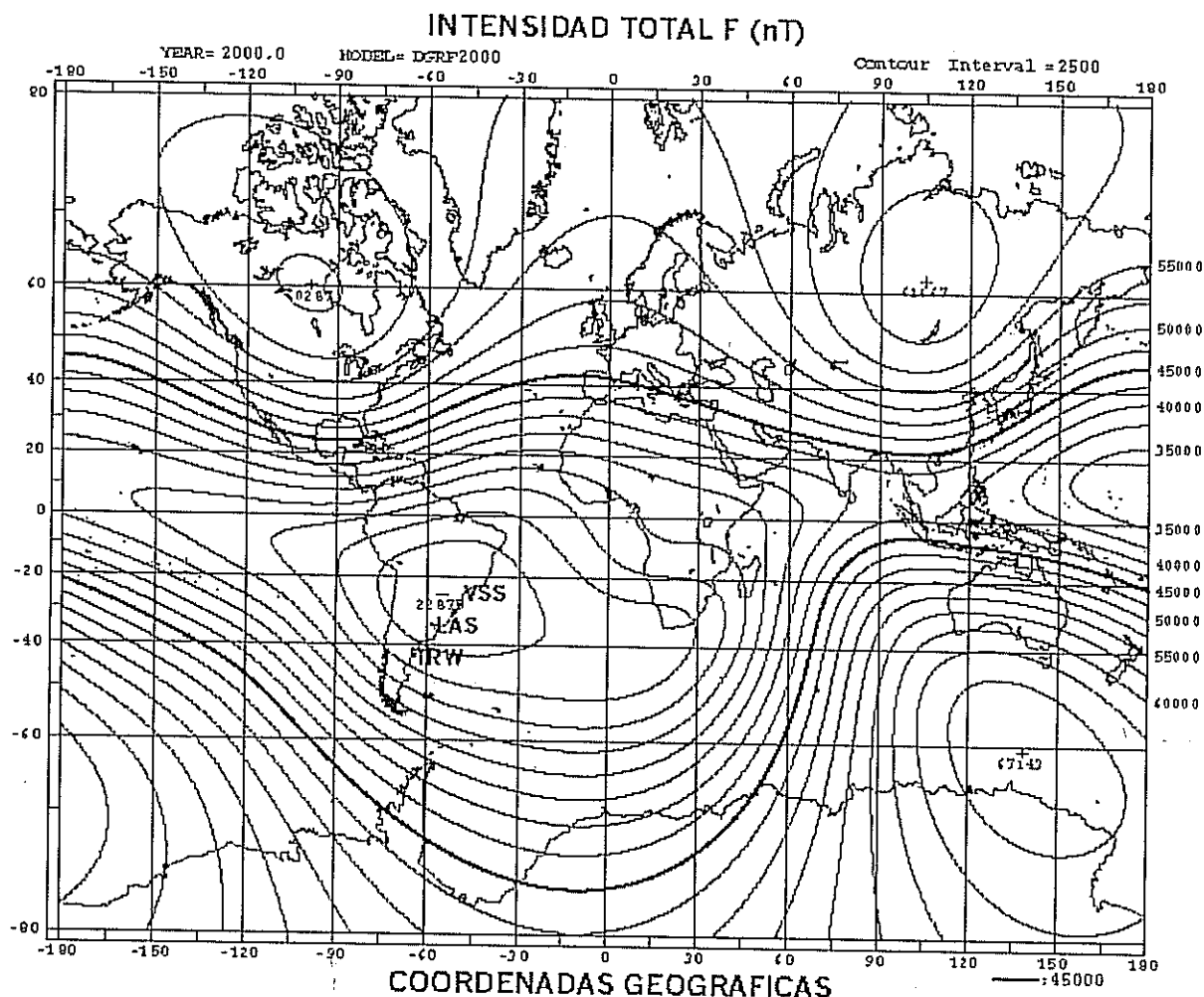
La evolución del campo magnético terrestre de origen externo e interno es otra de las características del medio ambiente regional del Río de La Plata, pues en ella se presentan diversas fenomenologías que afectan los sensores remotos satelitales, comunicaciones y pérdida de información de las memorias semiconductoras satelitales (Hanslmeier 2002). El campo magnético terrestre (CMT) registrado en la superficie terrestre tiene tres aportes. El campo de origen interno generado en el núcleo externo de la Tierra por un efecto dínamo, el campo magnetostático producido por la corteza y el campo producido por sistemas de corrientes equivalentes ubicados en la ionósfera y en la cavidad magnetosférica (Parkinson, 1983). La intensidad del CMT en la región del Río de La Plata, es del orden de 23.300 nanoTeslas (nT), siendo el 95% de origen interno, el 2% de origen cortical y el 3% de origen externo, considerando prácticamente despreciables las variaciones por inducción. El campo de origen interno decrece a una tasa de 40nT por año.

En el presente trabajo se analiza la evolución de la gran anomalía del Atlántico Sur (AAS), y su interacción con los eventos solares y eyecciones de masa coronal (Hanslmeier, 2002; Aschwanden, 2004). La AAS se manifiesta en valores muy bajos de la intensidad total del campo geomagnético, y su foco se encuentra ubicado en la región del Río de La Plata. Su dimensión abarca desde el Océano Pacífico, toda Sudamérica y parte del Continente Africano (Figura 1). Debido a la tendencia decreciente del campo magnético terrestre, el mínimo de esta anomalía también decrece con una tasa promedio de 20 nT por año, según el modelo del Campo Geomagnético Internacional de Referencia (International Geomagnetic Reference Field: IGRF) (Langel, 1987; Mandeia and Macmillan, 2000).

Heirtzler (2002) analiza los aspectos e implicancias de la Anomalía del Atlántico Sur (AAS) y su efecto sobre las radiaciones provenientes del espacio. Una de sus mas importantes conclusiones basadas en resultados de la interacción del flujo de partículas solares con el modelo del IGRF, predice daños en las naves espaciales y la actividad humana en el espacio. Badhwar (1997), advierte sobre los modelos de atrapamiento de partículas por el CMT que no consideran el efecto de la AAS, y predicen flujos de partículas erróneos que no se condicen con las observaciones satelitales. Gianibelli et al. (1996) determinaron mediante el uso del modelo IGRF la variación del mínimo de la AAS en longitud y latitud siendo para 1945.0  $314^{\circ}.8$  y  $-26^{\circ}.08$  y para 1995.0  $306^{\circ}.2$  y  $-26^{\circ}.60$  respectivamente comprobando una deriva en dirección oeste-suroeste.

Los estudios sobre la actividad solar y las relaciones terrestres solares han aportado un gran avance para el entendimiento de la evolución del sistema donde el hombre desarrolla su actividad. Pecker y Runcorn (1990) editan una monografía sobre la variabilidad del clima y del sol en el último milenio desde el punto de vista geofísico, astronómico y arqueológico; y recientemente Benestad (2004), describe la importancia de la conexión sol-tierra en los eventos climáticos. Por otra parte Gianibelli et al. (2001), y Kohn et al. (2002) comprueban la posible relación entre la pluviometría y las tormentas geomagnéticas, lo que indica que efectos electrodinámicos de origen externo deben ser tenidos en cuenta en futuros modelos globales de la evolución del medio ambiente. Las observaciones magnéticas en observatorios permanentes son variables correlacionables con fenómenos que se desarrollan en el

medio ambiente, y tienen un aporte también de origen geológico-geofísico, ya que las observaciones de la tasa de cambio anual en los observatorios magnéticos permanentes de la región de la AAS muestran cambios diferentes a lo obtenido por el IGRF, lo cual es un indicador de una evolución de origen interno no contemplada por el modelo IGRF (Gianibelli et al., 2003).



**FIGURA 1:** Isolíneas en la Intensidad Total del Campo Geomagnético a partir del modelo IGRF 2000. Tomado del World Data Center A, Boulder, Co, USA. Se observa la ubicación de los Observatorios Magnéticos de VSS, LAS y TRW.

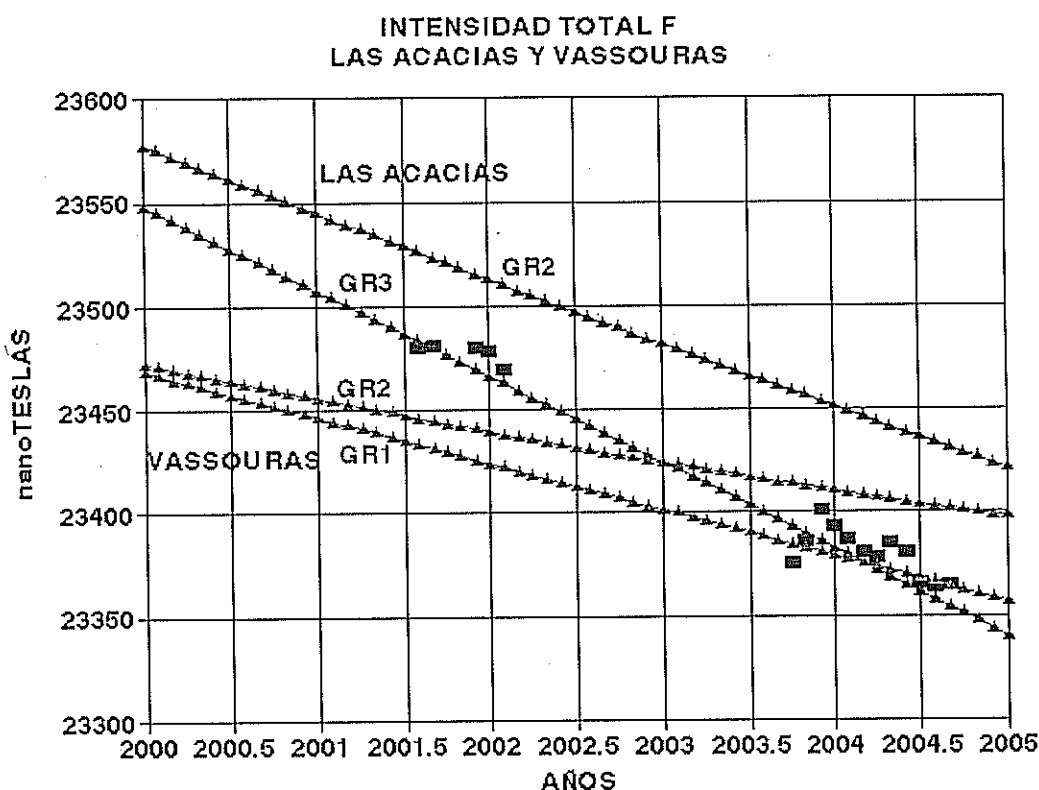
La información es aportada por los registros digitales en forma continua y permanente del CMT por medio de Observatorios Magnéticos Permanentes que conforman redes, como la red Intermagnet. La región del Río de La Plata posee observatorios que no pertenecen a esta red, pero la AAS se encuentra cubierta por seis observatorios de la red Intermagnet que patrullan los fenómenos geomagnéticos que se producen en este medio ambiente para el estudio y modelado del CMT.

## INSTRUMENTOS Y DATOS

Los observatorios geomagnéticos permanentes (Figura 1) utilizados para este estudio se encuentran, uno en Brasil, cerca de la ciudad de Río de Janeiro, denominado Vassouras (VSS) (Lat. -

22°40', Long. 316°35'), y dos en la República Argentina: uno en la provincia de Buenos Aires, en la Ruta Provincial 11, Km 27 llamado Las Acacias (LAS) (Lat. -35°01', Long. 302°31') y el otro en las cercanías de la ciudad de Trelew, en la Ruta que une esta ciudad con la localidad de Gaiman denominado Trelew (TRW) (Lat. -43°27', Long. 294°62'). VSS y TRW pertenecen a la red Intermagnet. Los registros de la intensidad total (F) del CMT se realizan con magnetómetros de similar principio físico de detección: precesión protónica, obteniéndose valores digitales absolutos cada minuto en los tres observatorios. Se promediaron mensualmente los valores cada minuto de F, y se ajustaron modelos polinómicos de 1er, 2do y 3er orden, (Davies, 1973; Brandt, 1998), representativos de la marcha temporal de origen interno del CMT para los observatorios geomagnéticos de VSS y LAS.

Los resultados de los polinomios adoptados se muestran en la Figura 2, donde aparecen la gráfica de los polinomios de 1er y 2do grado para VSS y de 2do y 3er grado para LAS, como verificación del modelo de 3er orden adoptado para LAS se superpusieron en símbolo de cuadrado lleno los valores promedio mensuales de LAS.



**FIGURA 2:** Comparación de los modelos polinómicos de ajuste para los Observatorios Magnéticos Permanentes de Las Acacias y Vassouras. En cuadrados rellenos se tienen las observaciones realizadas en Las Acacias promediadas mensualmente.

Seleccionando el modelo para VSS de 1er grado, se observa en la Figura 2 que la tendencia a valores menores del CMT se produce en LAS para la época 2004.5-2005, lo que indica que se tendrán valores menores de la intensidad total del campo geomagnético en el futuro con respecto al observatorio de VSS. Esta situación tendrá repercusión en los registros digitales de las variaciones absolutas diurnas de estos observatorios permanentes y por ende en la actividad magnética de origen externo.

Las variaciones temporales en intervalos diarios están relacionadas con la interacción Sol - Tierra mediante el acoplamiento viento solar - CMT, para los registros de los procesos de tormentas magnéticas y eyecciones de masa coronal del Sol. Asimismo, existen efectos de radiación ultravioleta y rayos X en los fenómenos de variación solar y efectos de eyecciones de rayos X (denominadas flares

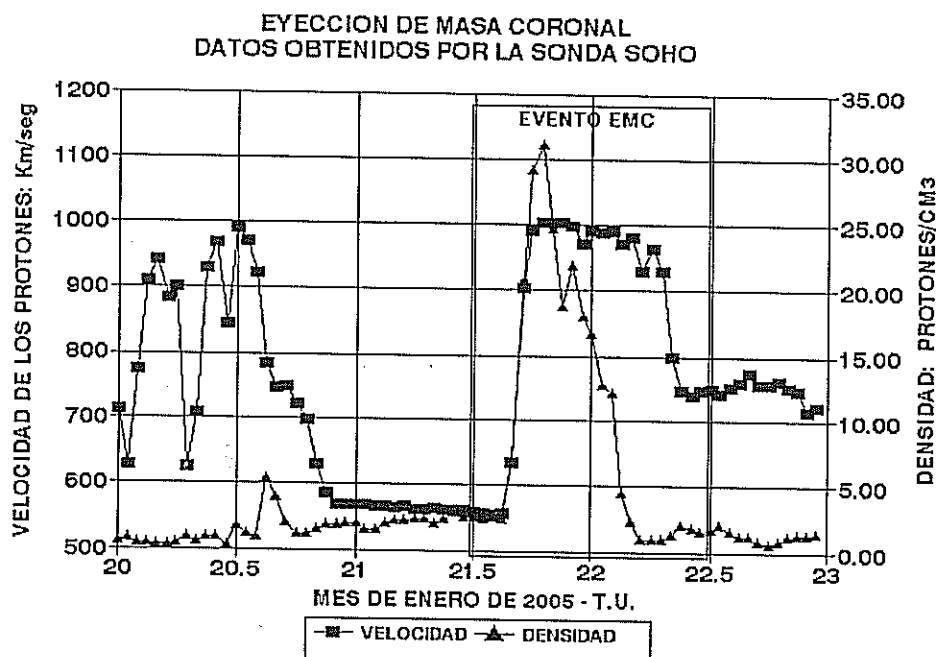
solares). En las tormentas y eyecciones de masa coronal solar, el campo magnético terrestre se comporta como un escudo, no siendo así para las fulguraciones (flares) solares.

Para analizar estos efectos registrados en los observatorios de VSS, LAS y TRW, y determinar la incidencia de la anomalía del Atlántico Sur sobre el medio ambiente geomagnético local, se seleccionó una tormenta magnética registrada el 21 de enero de 2005 como consecuencia de una eyección de masa coronal (EMC) solar, cuyo efecto se registra casi media hora más tarde de lo que detecta el instrumental de la sonda SOHO ubicada a  $1.5 \times 10^6$  Km de altura.

Otro proceso también analizado fue la secuencia de burbujas de protones en el viento solar, combinadas con eyecciones de rayos X, registradas el día 27 de marzo de 2005.

## RESULTADOS

La Figura 3 muestra los parámetros del viento solar detectados por la sonda SOHO, caracterizados por la velocidad y densidad de protones del 20 al 22 de enero de 2005 correspondiente a una eyección de masa coronal (Aschwanden 2004). De esta figura se observa que para que se produzca un efecto apreciable de la perturbación EMC en los registros digitales del CMT, los parámetros solares de velocidad y densidad de protones deben tener un máximo coincidente.

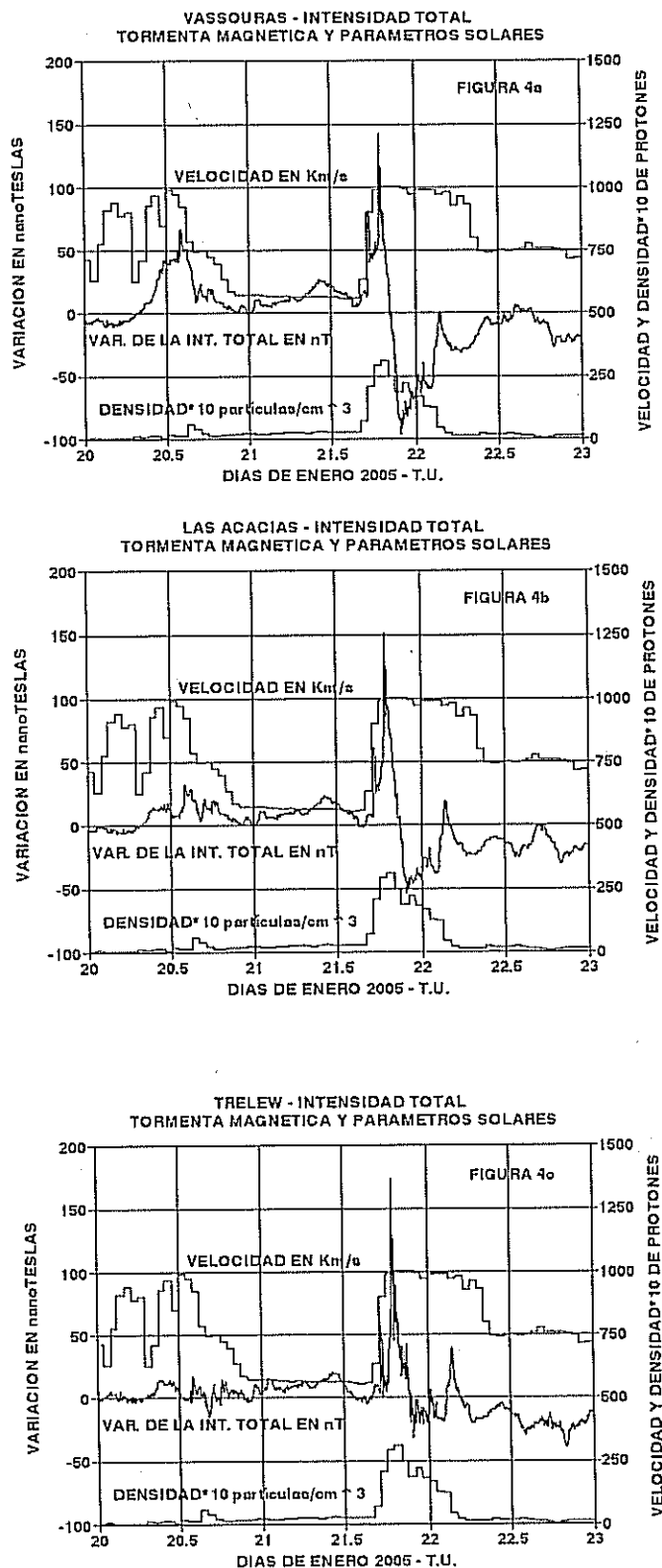


**FIGURA 3:** Correlación en los parámetros solares que caracterizan la determinación del evento EMC, registrados por la sonda SOHO.

La tormenta magnética registrada en los observatorios de VSS, LAS y TRW se muestra en la Figura 4 partes a, b y c respectivamente. En ellas se ha incluido las curvas velocidad y densidad de protones a los fines de correlacionar los eventos. Las amplitudes absolutas del evento geomagnético son las siguientes: VSS: 236.6 nT, LAS: 205.4 nT, y TRW: 205.2 nT, presentando VSS una amplitud mayor un 15% respecto de LAS y TRW. Esto es debido posiblemente a sistemas de acoplamiento de la ionósfera – Anillos de Van Allen dejando que el flujo particulado penetre mas profundamente en la región de la AAS (Heirtzler, 2002). La Figura 4 muestra además, que el efecto de la AAS es importante, ya que serían esperable menores valores a medida que nos acercamos a latitudes subpolares (Lat. < 60°),



donde luego sí aumentan apreciablemente. Se observa que la amplitud no disminuye en TRW lo cual indica un comportamiento que deberá investigarse en detalle en el futuro.



FIGURAS 4 a, b y c: Superposición del evento de EMC y su efecto sobre el registro de los observatorios permanentes de VSS, LAS y TRW.

Otro aspecto es el efecto producido por la interacción de burbujas de protones presentes en el viento solar combinadas con eyecciones de rayos X, ocurridas el día 27 de Marzo de 2005.

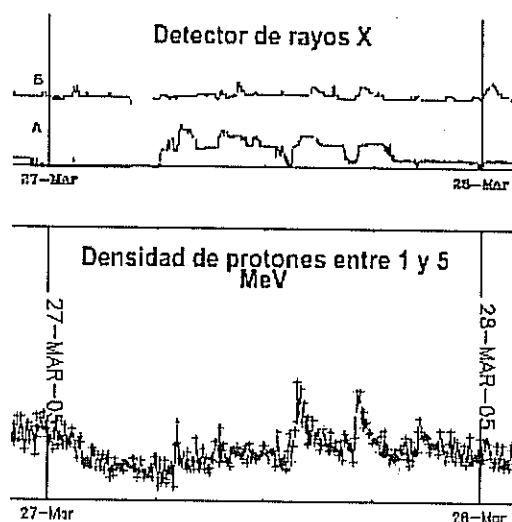


FIGURA 5: Registro del satélite GOES donde se muestra eyecciones de rayos X y protones del día 27 de marzo de 2005

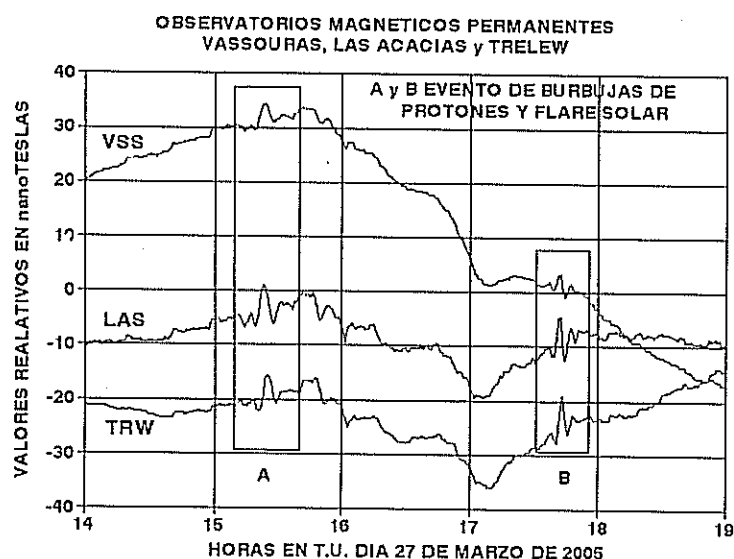


FIGURA 6: Efecto de los eventos registrados por el satélite GOES en los registros de los observatorios de VSS, TRW y LAS. Valores relativos al promedio diario.

La Figura 5 muestra la densidad de protones del viento solar y de los rayos X, que generaron este evento en esa fecha. Su registro fue realizado por la sonda GOES. Era de esperar que el efecto sobre el CMT registrado en superficie fuera de amplitud equivalente, pero es evidente que, según surge de la Figura 6, en las señales registradas A y B es menor en VSS que en LAS y TRW.



Las amplitudes promedio de ambos fenómenos es la siguiente: VSS: 3.3nT, LAS y TRW: 7nT. Estas variaciones magnéticas son un indicador de que los efectos de rayos X de los flares solares podrían llegar a la superficie terrestre y, por ende, producir efectos acumulativos sobre la actividad biosférica del medio ambiente. Esto es similar a las emisiones de rayos cósmicos provenientes del Sol y de la galaxia, Dorman (2004).

## CONCLUSIONES

El control de los parámetros del viento solar y otras radiaciones como rayos cósmicos solares, por medio de sondas que registran en intervalos de 1 minuto o menos, son de fundamental importancia para su correlación con los efectos magnéticos registrados en superficie. Este es el caso de la sonda SOHO entre otras, cuyos registros quedan almacenados en bases de datos disponibles en internet para la comunidad científica. Este aporte de información cambia los criterios sobre el efecto unilateral de la actividad desarrollada por el hombre, como único responsable de las transformaciones del medio ambiente. Más aún, es un aporte que debe tenerse en cuenta en las políticas a seguir sobre los fenómenos de contaminación atmosférica, que pueden desencadenar en un prematuro e inesperado efecto invernadero simplemente por efecto "gatillo" de origen externo.

Los modelos matemáticos de representación global del campo magnético terrestre son una aproximación a gran escala, tal como el IGRF 2000, y existen divergencias de los valores mínimos de  $F$  del CMT que se obtienen de los modelos con respecto a los mínimos de los valores absolutos medidos en los observatorios magnéticos permanentes en la región del Río de La Plata.

El valor predicho por el modelo IGRF 2000 calculado para el mes de enero de 2005, como control de los modelos polinómicos adoptados, para VSS, LAS y TRW respecto del promedio mensual observado en los observatorios, presenta un desvío de +232nT, -30nT y -71nT respectivamente.

Sería de esperar un desvío de menor valor, pero el modelo no presenta un acorde desempeño en forma adaptativa a la evolución temporal de los valores promedios de estos observatorios. Por ende la figura 1 muestra una imagen de la anomalía que podría tener desvíos apreciables. Sus efectos se observan en los fenómenos transitorios de las eyecciones de masa coronal y procesos de burbujas de protones y flares solares registrados.

Por otra parte, la AAS posee un mínimo que se va intensificando para la región del Río de La Plata, a una tasa del orden de 40nT por año, mientras que para VSS es notablemente menor (20nT/año), evidenciado en los efectos de flares solares, el efecto es mayor en LAS y TRW que en VSS.

Es por ello que el observatorio magnético de TRW presenta para las perturbaciones de origen Sol – Tierra, efectos del mismo orden que los observatorios de VSS y LAS, indicando que la AAS se amplía.

Por último, otro de los aspectos a tener en cuenta es el instrumental utilizado en las determinaciones el cual es similar en los tres Observatorios permanentes, con una precisión de 0.1nT para cada determinación. De ello resulta un valor del orden de 100 en la relación señal/ruido para la detección de señales pequeñas, como los efectos de flares solares u otros como pulsaciones y efectos de perturbaciones electromagnéticas producidas por la actividad del hombre frente a la incerteza de la medición digital automática.

Se sugiere que los aspectos de cambios en el medio ambiente que se observen en otros Observatorios Magnéticos, sean detectados con la mayor precisión para poder interpretar si existe alguna correlación y así formular modelos que lo simule.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó gracias al esfuerzo de todos los operadores de los Observatorios Geomagnéticos permanentes que diariamente controlan el funcionamiento de los equipos digitales. También está dirigido este reconocimiento a los miembros de la Red Intermagnet que desinteresadamente colocan la información registrada del CMT a disposición de todos los investigadores del mundo.

Este trabajo se realizó dentro del Proyecto de Investigación de la UNLP (Programa de Incentivos a la Investigación) titulado: OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS, DISEÑO DE INSTRUMENTAL Y MODELADO.



## REFERENCIAS

- Aschwanden M., 2004, Physics of the Solar Corona. 1-842. Springer, Berlin.
- Brandt, S., 1998, Data Analysis. 3<sup>rd</sup> Ed., 1-652. Springer, Berlin.
- Badhwar, G. D. 1997, Drift rate of the South Atlantic Anomaly. Journal of Geophysical Research 102, A2: 2343-2349.
- Benestad, R. E. 2004, Solar Activity and Earth's Climate. 1-287. Springer, Berlin.
- Davis, J.C., 1973, Statistical and Data Analysis in Geology. 1-640. J. Wiley, New York.
- Dorman, L. I., 2004, Cosmic Rays in the Earth's Atmosphere and Underground. 1-855. Springer, Berlin.
- Gianibelli J. C., L. Petcoff, E. Suarez y R. Deza, 1996, Determinación de la Velocidad de Deriva de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur. Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia. III: 979-986.
- Gianibelli J. C., J. Kohn, y E. Kruse, 2001, The precipitation series in La Plata, Argentina and its possible relationship with geomagnetic activity. Geofísica Internacional México, 40 (4): 309-314.
- Gianibelli J. C., J. Kohn and M. Ghidella, 2003, Testing Igrf and Dgrf models for the 1900-2000 period with data from the Trelew Geomagnetic Observatory, Argentina. Geofísica Internacional México, 42 (4): 635-639.
- Hanslmeier A., 2002, The Sun and Space Weather. 1-237. Springer, Berlin.
- Heirtzler, J. R., 2002, The future of the South Atlantic anomaly and implications for radiation damage in space. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial. Physics. 64: 1701-1708.
- Kohn, J., J. C. Gianibelli y E. Kruse, 2002, Análisis de las precipitaciones en relación a las tormentas magnéticas. Congreso de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario, Argentina: 52-55.
- Langel, R.A., 1987, The Main Field. En Jacobs, J.A. (ed.): Geomagnetism. 1: 240-512. Academic Press, New York.
- Mandea M. and Macmillan S., 2000, International Geomagnetic Reference Field, the eighth generation. Earth Planets Space. 52: 1119-1124.
- Parkinson W. D., 1983, Introduction to Geomagnetism. 1-433. Scottish Academic Press, Edinburgh.
- Pecker, J. C. y S. K. Runcorn (Ed.), 1990, The earth's climate and variability of the Sun over recent milenia: Geophysical, astronomical and archeological aspects. 1-289. Royal Society of London.