



INSTALACIÓN DE UN OBSERVATORIO GEOFÍSICO EN URUGUAY Y RESULTADOS DEL PRIMER MONITOREO GEOMAGNÉTICO

Leda Sánchez Bettucci^{1,2*}, Gonzalo Tancredi^{3,2}, Pablo Núñez^{1,2,3}, Virginia Feldman^{1,2,4}, Ramón Caraballo²

¹ Área Geofísica-Geotectónica, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República (leda@fcien.edu.uy)

² Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá

³ Departamento de Astronomía, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República / Observatorio Astronómico Los Molinos, DICYT – MEC

⁴ Instituto de Física, Facultad de Ingeniería

Resumen

Se está llevando adelante la creación de un Observatorio Geomagnético que permitirá, de manera continua, precisa y constante, registrar observaciones vectoriales absolutas del campo magnético. Si bien Uruguay ha logrado alcanzar en las últimas décadas un nivel académico destacado en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, el desarrollo de las Geociencias, y sus aplicaciones sociales e industriales, no ha tenido un desarrollo acorde a las necesidades y potencialidades del área. En particular, el monitoreo de parámetros geofísicos es casi nulo a nivel de territorio uruguayo. Uruguay se encuentra dentro de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur, una región donde se han registrado los valores menores de campo magnético a nivel mundial. Las repercusiones de esta en superficie; como la vulnerabilidad a las radiaciones nocivas y susceptibilidad a las tormentas geomagnéticas, con consecuencias a nivel de las tele y radiocomunicaciones, y la generación de corrientes inducidas en líneas de alta tensión y ductos de larga extensión (gas, minero u oleoductos) aún son desconocidas. Por lo tanto, la instalación de una Estación Geomagnética será de utilidad para distintas áreas como la navegación, ingeniería, geofísica, aeronomía (física de la alta atmósfera), prospección geofísica, perforaciones, aviación militar y civil, y telecomunicaciones, entre otras. Así también será de utilidad para tareas de prevención/mitigación por ejemplo vinculadas a los sistemas de corriente eléctrica.

Para la instalación del primer observatorio geofísico se ha seleccionado un lugar en el Departamento de Maldonado, a 220km de Montevideo. Allí se instalará el denominado Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá (OAGA). Este se encuentra ubicado dentro de la Estancia Turística Lagunas del Catedral, cuyas coordenadas son $-34^{\circ} 20' 0.89''$ S/ $-54^{\circ} 42' 44.72''$ W, h: 270m. El OAGA contará en una primera etapa de un magnetómetro GSM-90F5D v7.0 *High Sensitivity Overhauser dIdD Magnetic Observatory System* y de un magnetómetro protónico GSM-19T v7.0 *Standard Proton Magnetometer*, ambos de *GEM Systems*. Se presentan los resultados preliminares del primer monitoreo de la intensidad del campo magnético total medido con un magnetómetro protónico G856 *geometrics*, desde el OAGA.

Abstract

The Facultad de Ciencias with support from Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), PEDECIBA Geociencias, and the Ministerio de Educación y Cultura (MEC) is installing the first Geophysical (Geomagnetic) Observatory. Uruguay is located in the South Atlantic Magnetic Anomaly, a region that has recorded the lowest values of magnetic field worldwide. This observatory will minimize an important gap in the global network of magnetic observatories allowing better monitoring of the South Atlantic Magnetic Anomaly. The implications and the vulnerability to harmful radiation and susceptibility to geomagnetic storms, with consequences at the level of TV and radio waves disruptions, and the generation of induced currents in power lines and mineral and oil pipelines are still poorly unknown. Therefore, the installation of a Geomagnetic Station will be useful in various areas such as navigation, engineering, aeronomy (the physics of the upper atmosphere), geophysical prospecting, drilling, military



and civil aviation, and telecommunications, among others. This Observatory is located at the Lagunas del Catedral Tourist Farm, coordinates are $34^{\circ} 20' 0.89'' \text{S} / -54^{\circ} 42' 44.72'' \text{W}$, h: 270m, in the Department of Maldonado. The OAGA will be operating, in a first stage, with a magnetometer GSM-90F5D v7.0 High Sensitivity Overhauser dIdD Magnetic Observatory System and proton magnetometer GSM-19T Proton Magnetometer Standard v7.0, both GEM Systems. We present preliminary results of the first monitoring of the total magnetic field intensity measured with a proton magnetometer Geometrics G856.

Variaciones del campo magnético terrestre

El campo geomagnético se ha reducido considerablemente en los últimos años. A partir de las mediciones sistemáticas que se iniciaron en 1845, se ha reconocido un decaimiento de la intensidad del orden del 10% en los últimos 160 años, y de alrededor de un 5% en los últimos 10 años (Merrill, 2010). Este descenso es más importante en algunas regiones del planeta. Uruguay se encuentra en centro de la **Anomalía Magnética del Atlántico Sur** (con valores inferiores a la mitad del valor medio del planeta, Fig. 1) lo que implica que somos más vulnerables a las radiaciones cósmicas nocivas. En nuestra región, se estima que el valor del campo magnético total ha caído cerca del 20% en los últimos cien años (Fig. 2). Pese a esta situación particular, Uruguay no cuenta con una Estación Geomagnética.

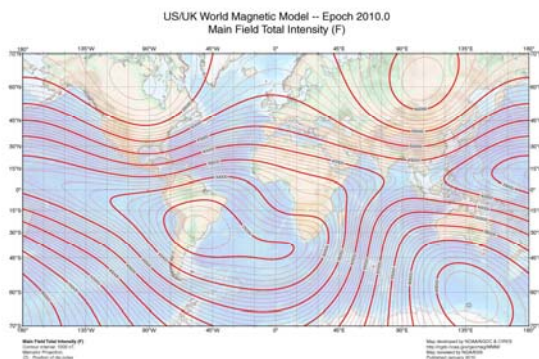


Figura 1 – Distribución de la intensidad total del campo geomagnético, representado por líneas de iso-intensidad. La unidad de las isolíneas es nanoTesla (nT). Nótese los bajos valores centrados en el Sur de Brasil y Uruguay que conforman la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (tomado de NOAA/NGDC y CIRES 2010).

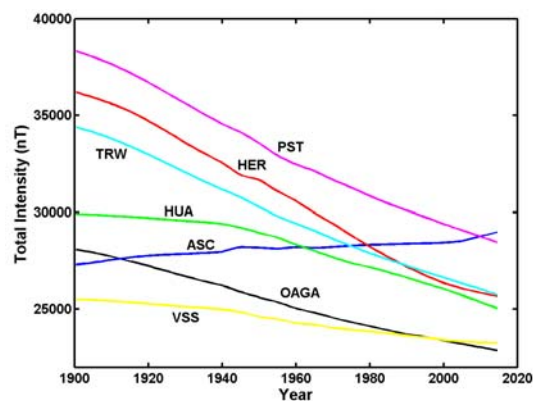


Figura 2 – Evolución temporal y pronóstico de tendencia de los valores de intensidad del campo magnético desde 1900 hasta el presente para observatorios de la región Atlántico Sur: OAGA (Aiguá, Uruguay), ASC (Isla Ascención, Atlántico), HER (Hermanus, SudAfrica), HUA (Huancayo, Peru), Port Stanley (Islas Malvinas, Atlántico), TRW (Trelew, Argentina), VSS (Vassouras, Brasil).

Estudios recientes apuntan a que dentro de los próximos 1000 años el campo magnético se minimizará y se producirá una inversión de los polos del campo magnético o bien se producirá una excursión. Una inversión puede mantenerse incluso durante miles de años (Coe et al. 1995). Asociado a estos fenómenos de minimización temporal del campo magnético puede haber ocurrido un mayor número de extinciones masivas de especies; debido a las mutaciones asociadas por la mayor intensidad de radiación particulada y de rayos cósmicos. Es de destacar que estas inversiones del campo magnético terrestre no siguen un período regular, aunque el período medio entre cada inversión en los últimos 5 millones de años ha sido de 500.000 años (Fuller 1989; Mankinen y Wentworth 2003). Las consecuencias de una inversión del campo magnético en el presente pueden ser mucho mayores que las ocurridas en la antigüedad, dada la dependencia de la Humanidad de las tecnologías que usan la electrónica (Kappenman y Radasky 1999).



Además de las variaciones de largo plazo, el campo magnético de la Tierra se ve afectado por variaciones de corto plazo, producto de la interacción con el cambiante campo magnético solar y el viento solar. Estas variaciones tienen consecuencias sobre la Magnetósfera e Ionósfera de la Tierra, las que son de vital importancia para diagnosticar las condiciones para radiocomunicaciones por ondas cortas de radio. El flujo de partículas muy energéticas (protones y electrones) a nivel de tope de la atmósfera alcanza en la región de la anomalía valores miles de veces superior al resto del planeta (Fig. 3). Esto genera un número muy importante de desperfectos en la electrónica de satélites de baja altura, que lleva a que se deban de tomar medidas de prevención para el instrumental a bordo cuando el satélite pasa sobre la anomalía del Atlántico Sur (Fig. 4). Además, las variaciones del campo magnético pueden generar corrientes inducidas en líneas de alta tensión y ductos de larga extensión (gas, minero u oleoductos). Por tanto, la existencia de una Estación Geomagnética será de gran importancia y beneficio a las áreas de las Telecomunicaciones, Navegación, Física de la Alta Atmósfera, con aplicaciones en: prospección de recursos naturales (como las que se encuentra realizando la empresa estatal uruguaya ANCAP en hidrocarburos y varias empresas mineras), perforación, Aviación Civil, Militar (Seguridad y Defensa), Aeroespacial, entre otros. También podrá contribuir a mejorar la precisión de estudios geofísicos donde se utilice magnetometría para explorar debajo de la superficie terrestre.

El observatorio podrá proporcionar al país cartas geomagnéticas de nuestro territorio y un patrón para la calibración de las brújulas y otros instrumentos de medición.

Se pretende cumplir con los estándares de la *International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)*, con el propósito de formar parte de la red mundial de observatorios geomagnéticos **INTERMAGNET**, con lo cual contribuiríamos a la mejora del conocimiento del campo geomagnético de nuestro planeta. Según las estimaciones basadas en el modelos de la Fig. 2, la instalación de una estación geomagnética en Uruguay permitiría obtener los menores valores de intensidad de campo a nivel mundial respecto a las otras estaciones ya instaladas.

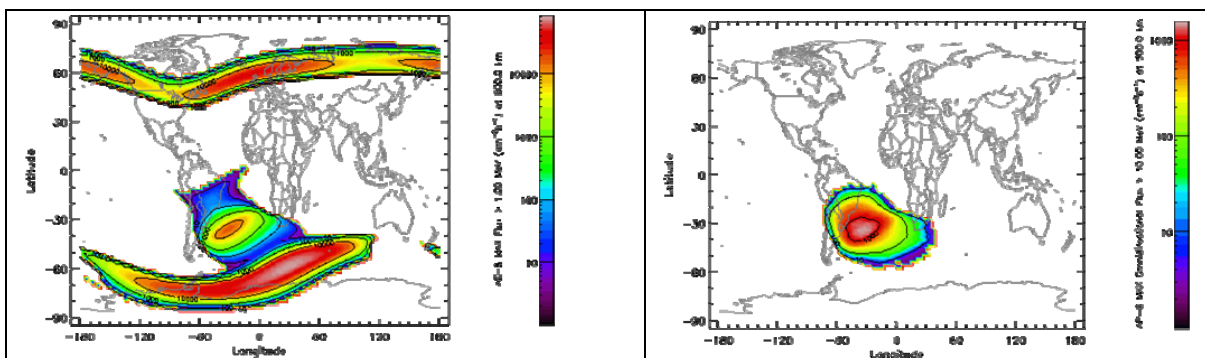


Figura 3 a) Mapa de la intensidad del flujo de electrones energéticos a 500km. b) Idem para el flujo de protones energéticos (tomado de Belgian Institute for Space Aeronomy, 2005).

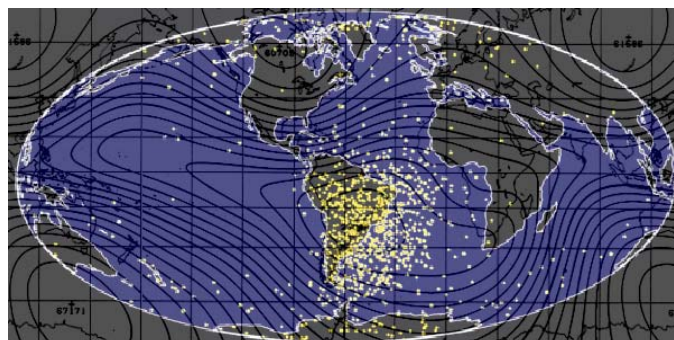


Figura 4 – Desperfectos de memoria (memory upsets) detectados por el satélite UOSAT. Superimpuesto los niveles de intensidad de campo magnético (tomado de Reiff 1999).



Primer monitoreo del campo magnético del Uruguay

En el marco de la instalación del Observatorio se ha comenzado a tomar medidas de la intensidad del campo magnético. Estas se han tomado con un Magnetómetro Protónico de Precisión (Geometrics G856X) desde el Observatorio de Aiguá (Fig. 5) y en el predio del Observatorio Astronómico Los Molinos, en Montevideo. El magnetómetro se colocó, en el lugar de menor gradiente, tomando medidas cada 5 minutos de modo automático.



Figura 5 a) Centro de control del Observatorio de Aiguá (en construcción).



Figura 5 b) Ubicación geográfica del OAGA

En la Fig. 6 se muestran las medidas tomadas desde el OAGA para los meses de febrero, marzo, abril y julio de 2011. Se observa un valor promedio en el entorno de las 22900 nT para febrero y 22860 nT para Julio, eso implica una caída de 0,17% en seis meses. Las variaciones diurnas presentan amplitudes de hasta ~60 nT y perturbaciones de que llegan a 100 nT frente a tormentas magnéticas. Para poder entender las causas de las variaciones de amplitud observadas, se obtuvieron los datos del índice de actividad geomagnética conocido como Planetary A-Index (AI) (<http://www.swpc.noaa.gov/Data/index.html>). El AI es un promedio de estimaciones de varios observatorios del mundo. En la Fig. 7 se contrastan los cálculos de A-index planetarios según NOAA y el A-index calculado para el observatorio OAGA. Este último es el promedio de los a-index diarios y que representa la amplitud equivalente en una escala lineal de los k-index, determinados con los datos obtenidos en el OAGA. Se observa que las mayores amplitudes medidas en el OAGA se correlacionan con altos valores del PAI. Durante el período de las mediciones se observó una considerable variación de la amplitud diurna de la intensidad del campo magnético. Para estimar la amplitud se aplicó un filtro de mínimo y máximo con una ventana de 12h y se hizo la diferencia entre máximo y mínimo. Las amplitudes obtenidas se presentan en la Fig. 8a.

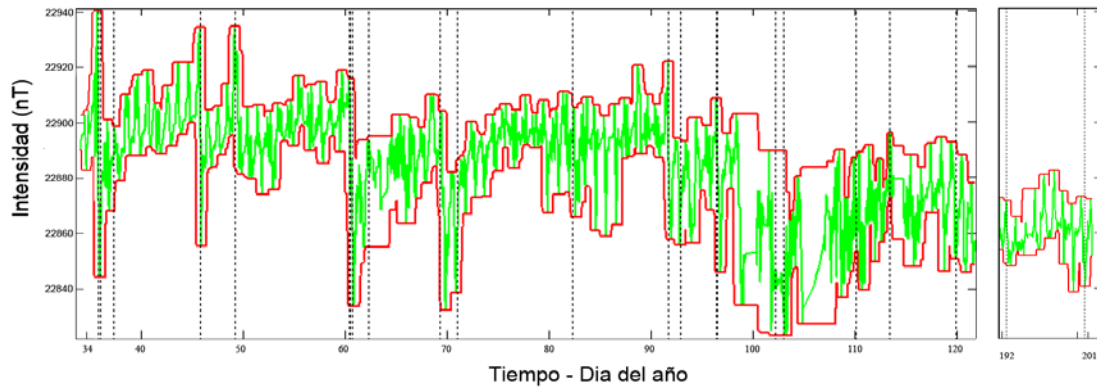


Figura 6 – Intensidad total del campo magnético medida con un magnetómetro protónico de precisión desde el Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá entre los días 3 de febrero (día 34) y el 1 de mayo (121) y entre el 10 y 20 de Julio de 2011. En verde intensidad de campo magnético, en rojo curvas envolventes. En línea punteada las fechas de llegada de tormentas solares (K4 o mayores), según NOAA.

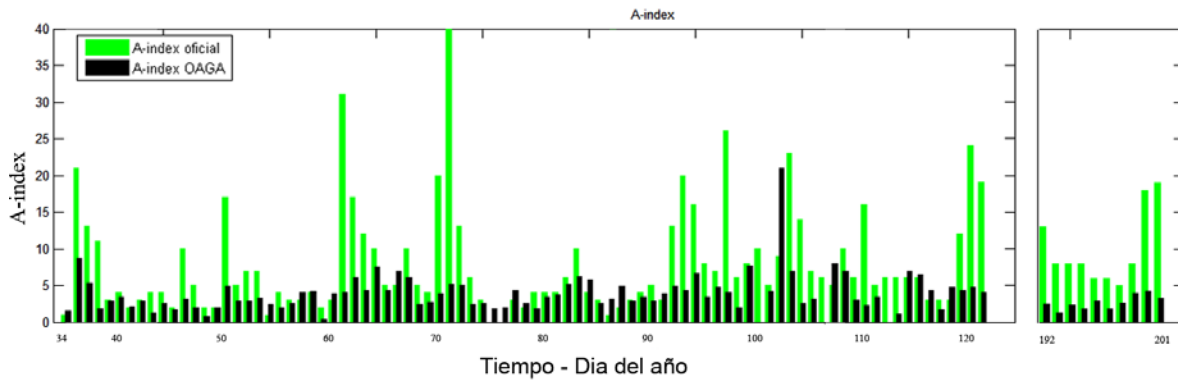


Figura 7. A-index oficial según NOAA vs A-index calculado para el OAGA (en negro).

Asimismo se comparan estos resultados con observatorios de la región (Fig. 8b), observándose que los menores valores de intensidad de campo magnético corresponden al OAGA.

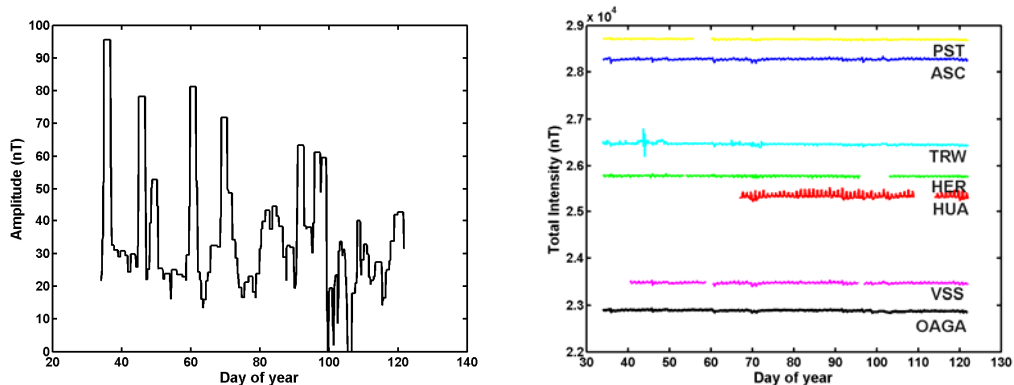


Figura 8. a) Amplitud de la intensidad total del campo magnético entre los días 2 de febrero a 1 de mayo, b) Comparación de los valores de intensidad total del campo magnético entre febrero y mayo para observatorios del Atlántico Sur: OAGA (Aiguá, Uruguay), ASC (Isla Ascensión, Atlántico), HER (Hermanus, Sudáfrica), Port Stanley (Islas Malvinas, Atlántico), TRW (Trelew, Argentina), VSS (Vassouras, Brasil).



Por otra parte, y a modo de comparar valores de campo con otra localidad se instaló el magnetómetro al N de Montevideo, encontrándose valores algo superiores a los registrados en Aiguá (véase figura 9). Esto fue realizado entre los días 30 de Agosto y 1 de Setiembre 2010. En la Fig. 9a se presenta la evolución de la intensidad total del campo magnético para esos días. Además de las variaciones diurnas del campo magnético se observan varios puntos con caídas pronunciadas de la intensidad total, de hasta ~60 nT respecto al promedio corrido. En la Fig. 9b se presenta un histograma del número de caídas en intervalos de 0.5 horas. Durante los días de las medidas hubo fuertes tormentas eléctricas en la zona del Observatorio. Para analizar la relación entre las caídas de intensidad y la ocurrencia de descargas eléctricas producto de los rayos, se analizaron los datos proporcionados por el Grupo de Electricidad de Atmosférica del Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil (<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>). Se analizaron las imágenes proporcionadas por el website donde se contaron los rayos detectados en una región del Sur del Uruguay. Los rayos contados en intervalos de 0.5h se presentan en la Fig. 9c. se observa una correlación estrecha entre el número de caídas y el número de rayos detectados. Los rayos producirían una variación del campo magnético local o una perturbación en la corriente eléctrica que alimenta al magnetómetro que explicaría la caída de los valores de intensidad medidos. Si bien es un problema que merece un estudio en mayor profundidad.

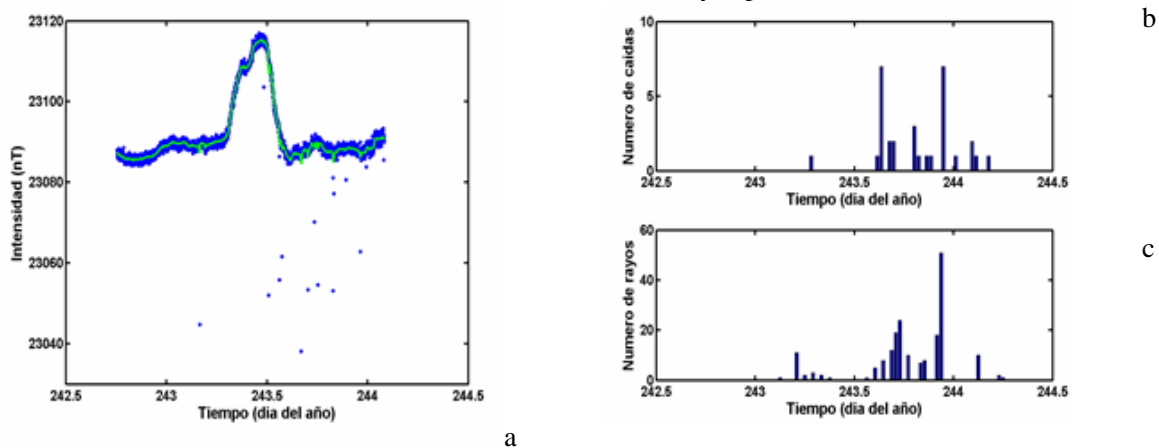


Figura 9 a) Intensidad total del campo magnético medida con un magnetómetro protónico de precisión desde el Observatorio Astronómico Los Molinos entre los días 30 de Agosto (día 242) y 1 de Setiembre (día 244), 2010. Nótese los puntos con caídas pronunciadas de intensidad. b) Histograma del número de caídas de intensidad, consideradas como valores menores al promedio corrido menos 3 nT. c) Número de rayos contados en imágenes proporcionadas por el Grupo de Electricidad Atmosférica del Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil (<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>).

Conclusiones

Se presentaron las consideraciones que fundamentan la necesidad de instalar en Uruguay un Observatorio Geofísico.

El Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá se debería constituir a futuro en una plataforma para el desarrollo de las Geociencias en Uruguay. Los testeos iniciales muestran que la instalación del OAGA presenta un gran potencial para el estudio de la evolución de la anomalía magnética del Atlántico Sur, dado que se tendrían los menores valores a nivel mundial de la intensidad del campo magnético entre los observatorios en funcionamiento. Los aportes que implicaría contar con un monitoreo geomagnético continuo desde Uruguay serían contribuir al conocimiento sobre la evolución de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur; determinar los niveles de variación de diurna y anual del campo magnético terrestre y su interacción con el viento solar; conocer las variaciones del campo magnético de corto plazo para usos industriales: prospección geofísica, mediciones con equipamiento magnético y prevención frente a tormentas geomagnéticas y efectos asociados: corrientes inducidas, alto flujo de



partículas energéticas, radiación sobre satélites, efectos sobre la ionosfera, ionización y mutaciones, entre otras.

Referencias

Belgian Institute for Space Aeronomy , 2005. The Earth's trapped radiation environment, <http://www.oma.be/BIRA-IASB/Scientific/Topics/SpacePhysics/RadiationEnvironment3.html>

Coe, R. S., Prévôt, M., & Camps, P., 1995, New evidence for extraordinarily rapid change of the geomagnetic field during a reversal, *Nature*, 374, 687.

Fuller, M., 1989, "Fast changes in geomagnetism" *Nature*, vol. 339, pp. 582- 583.

Kappenman, J. G., & Radasky, W. A., 1999, Learning to Live in a Dangerous Solar System: Advanced Geomagnetic Storm Forecasting Technologies allow the Electric Power Industry to Manage Storm Impacts, Proceedings of Laboratory for Extraterrestrial Physics Brown Bag Seminar.

Mankinen E., Wentworth C. 2003, Preliminary Paleomagnetic Results from the Coyote Creek Outdoor Classroom Drill Hole, Santa Clara Valley, California, <http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-187/of03-187.pdf>

NOAA/NGDC & CIRES, 2010, <http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>

Odenwald, S. F., 2001, *The 23rd Cycle: Learning to Live with a Stormy Star*, ISBN: 0-2311-2079-6

Reiff, P., 1999. *The Sun-Earth Connection*. <http://space.rice.edu/IMAGE/livefrom/sunearth.html>