



ESTUDIO DE PARÁMETROS GEOMAGNÉTICOS Y SU POSIBLE INFLUENCIA SOBRE ANOMALÍAS SISMO-IONOSFÉRICAS

P. Larocca^{1*}, M. Fiore^{1,2}, F. Oreiro^{2,3}, I. Vilariño¹, M.A. Arecco^{1,4}

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, Buenos Aires, Argentina.

²Ministerio de Defensa, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, Argentina.

³Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Dpto. de Agrimensura, Buenos Aires, Argentina.

⁴Universidad de la Defensa Nacional, Instituto Universitario Naval, Escuela de Ciencias del Mar, Buenos Aires, Argentina.

*e-mail: patri.larocca@gmail.com

ABSTRACT

This work shows results of the analysis of geomagnetic data obtained from measurements of the Earth's magnetic field at the King Eduard Point Observatory (South Georgia and South Sandwich Islands) and geomagnetic indices Dst, Ap and F10.7 and their comparison with seismic records produced between 54.5° - 61° South and 22.5° - 34° West, in the period between May 17, 2018 and April 30, 2019. It is possible to detect anomalous variations in the geomagnetic records within 3 days around the seismic events in the study area. It should be noted that in the study period there were no severe ionospheric effects due to being in a minimum of solar activity phase (minimum of solar cycle 24).

A qualitative explanation of such an effect may be related to the plate movement since the intense stress produced by the instantaneous release of accumulated energy in the hypocenter area inside the lithosphere crust could facilitate the mechanical means to generate that anomalous electromagnetic field. More evidence is needed for a better evaluation of possible geomagnetic phenomena related to earthquakes, so it is intended to carry out continuous follow-up over a longer period that includes more significant events that may allow finding possible correlations with seismic activity.

Keywords: Geomagnetic variations, earthquakes, geomagnetic activity index.

RESUMEN

Este trabajo muestra los resultados del análisis de datos geomagnéticos obtenidos a partir de mediciones del campo magnético terrestre en el Observatorio King Eduard Point (Islas Georgia y Sándwich del Sur) e índices geomagnéticos Dst, Ap y F10.7 y su comparación con eventos sísmicos producidos en la micro placa Sándwich y su fosa adyacente en la zona comprendida entre 54.5°- 61° de latitud Sur y 22.5° - 34° de longitud Oeste. El período de observación fue del 17 de mayo de 2018 al 30 de abril de 2019. Esta zona presenta alta actividad sísmica y volcánica debido a la subducción de la Placa Sudamericana bajo la micro placa Sándwich del Sur. Es posible detectar variaciones anómalas en los registros geomagnéticos en lapsos de 3 días alrededor de la detección de eventos sísmicos en la zona de estudio. Cabe destacar que en el período de estudio no se registraron efectos ionosféricos severos por encontrarse en fase de baja actividad solar (mínimo de ciclo solar 24).

Una explicación cualitativa de tal efecto puede estar relacionada con el movimiento de las placas, ya que la intensa tensión producida por la liberación instantánea de energía acumulada en la zona del hipocentro en el interior de la litosfera, podría facilitar el medio mecánico para generar los registros geomagnéticos anómalos. Se necesita más evidencia para una mejor evaluación de posibles fenómenos geomagnéticos relacionados con terremotos por lo que se pretende hacer un seguimiento continuo en un lapso mayor que incluya eventos más significativos que permitan hallar posibles correlaciones con la actividad sísmica.

Palabras Clave: Variaciones geomagnéticas, sismos, índices de actividad geomagnética.



1. Introducción

Existen numerosos estudios que reportan relaciones entre terremotos y otros fenómenos físicos. Estos fenómenos incluyen principalmente disturbios tales como anomalías electromagnéticas asociadas con terremotos. A menudo abarcan un amplio rango de frecuencias, siendo el rango de frecuencias ultra bajas (ULF) (0.001 - 1 Hz) el más prometedor, ya que se ha asociado con anomalías producidas en el campo electromagnético (EM) terrestre antes de grandes terremotos (Kushwah *et al.*, 2009; Takla *et al.*, 2018).

El campo magnético que se mide en la superficie terrestre es la suma vectorial de diferentes campos constituyentes, cada uno de ellos originados de forma diferente y que varían en el tiempo y en el espacio de maneras distintas. Está formado fundamentalmente por dos constituyentes: uno, global de gran amplitud, cuya fuente está en el interior de la Tierra y otro de amplitud mucho menor creado por fuentes más superficiales. Superpuesto a éstos está el campo externo producido por corrientes eléctricas que circulan en la Ionosfera y Magnetosfera que al variar en el tiempo generan campos inducidos.

Más del 90% del campo medido se genera en el núcleo externo de la Tierra. Esta parte del campo geomagnético varía lentamente en el tiempo y puede describirse mediante modelos matemáticos como el Campo de referencia geomagnético internacional (IGRF, *International Geomagnetic Reference Field*) y el Modelo Magnético Mundial (WMM, *World Magnetic Model*). La intensidad de la señal magnética de las rocas suele ser inferior al 1% de la intensidad del campo magnético principal de la Tierra. Sin embargo, con el uso de un modelo de campo geomagnético (por ejemplo, el Campo de Referencia Geomagnético Internacional - IGRF), estas pequeñas señales se pueden recuperar de los datos medidos. Los estudios geomagnéticos pueden ayudar a dar información del subsuelo y del proceso en el que tiene lugar un sismo.

La zona de subducción de la placa Sudamericana bajo la placa Sándwich del Sur, situada en el Atlántico Sur, representa una de las zonas de mayor actividad sísmica del planeta (Figura 1); en un período anual es posible que ocurran más de 300 eventos sísmicos de $M_w > 4,1$. Esta pequeña placa, está limitada al Norte y al Este por la placa Sudamericana, hacia el Sur por la placa Antártica y hacia el Oeste por la placa de

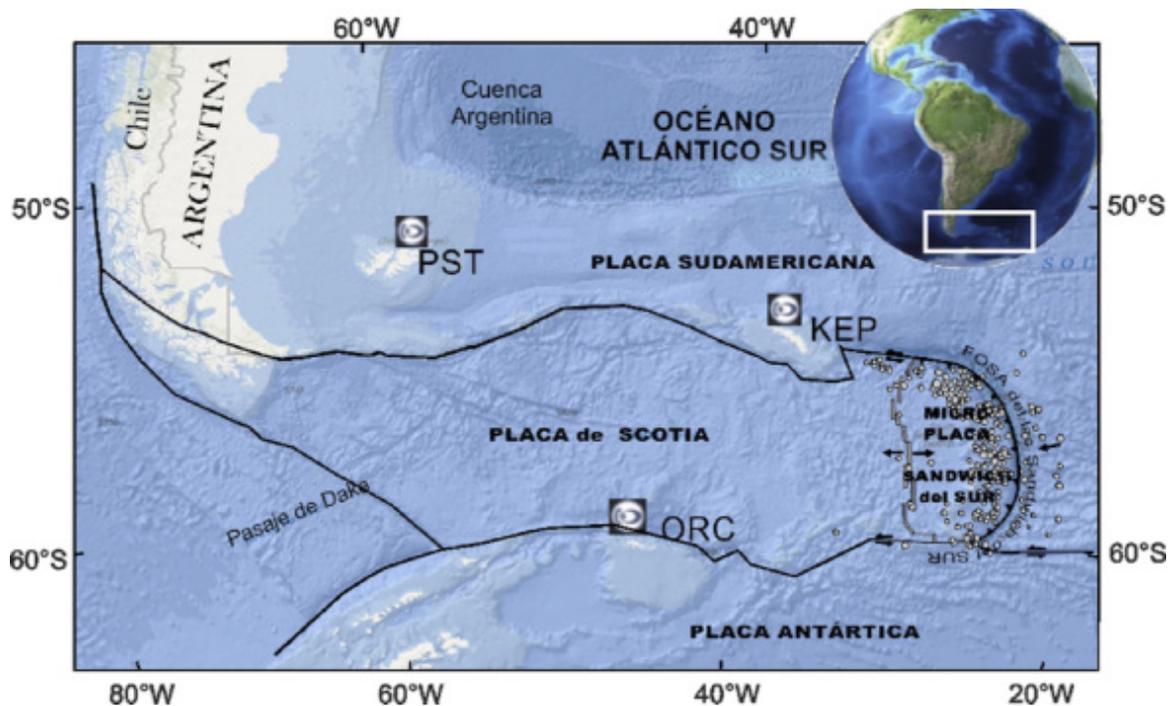


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Observatorios geomagnéticos PST, KEP y ORC, Puerto Stanley; King Edward Point y Orcadas respectivamente. Límites de placas (líneas negras). Epicentros sísmicos (círculos grises)



Scotia. La zona de subducción presenta un arco volcánico activo e intra-oceánico tectónicamente simple. El arco activo se construye en gran parte sobre la corteza oceánica de la pequeña placa Sándwich del Sur que se formó hace aproximadamente 10 Ma en el centro de expansión de la dorsal Este de Scotia (Leat *et al.*, 2003). El arco se está formando en respuesta a una subducción inclinada de la placa Sudamericana debajo de la placa Sándwich del Sur a una velocidad de 67 - 79 km / Ma (Thomas *et al.*, 2003); en un año representa un desplazamiento relativo de 7 a 8 cm. Se pretende observar variaciones magnéticas en los observatorios geomagnéticos más cercanos a la zona de estudio, como King Edward Point (KEP), ubicado en la vecindad de la zona de subducción, Port Stanley (PST) en las Islas Malvinas y Orcadas (ORC) en las Islas Orcadas del Sur, localizados más distantes (Figura 1).

A partir de las variaciones del campo magnético terrestre nos proponemos examinar la ocurrencia de cualquier cambio en el campo magnético terrestre asociada a eventos sísmicos en la zona oriental de la pequeña placa de Sándwich del Sur, comprendida entre 54.5° a 61° de latitud Sur y de 22.5° a 34° de longitud Oeste, en el período anual que va del 17 de mayo de 2018 al mismo día del 2019.

2. Datos y metodología

En este trabajo se hizo uso del valor del Campo de Referencia Geomagnético Internacional disponible en <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data.shtml> para los tres observatorios magnéticos, cuyo valor fue descontado de las observaciones diarias de los mismos para el periodo anual del 17/05/2018 al 17/05/2019. Se adquirieron datos por minuto de los observatorios King Edward Point (KEP), ubicado en la vecindad de la zona de subducción (54.3° S; 36.5° W), Port Stanley (PST) (51.7° S; 57.8° W) y Orcadas (ORC) (60.7° S; 44.7° W). Estos datos fueron obtenidos de la red de estaciones geomagnéticas terrestres INTERMAGNET (*International Real-time Magnetic Observatory Network*), disponibles en www.intermagnet.org.

Se analizaron casi 300 eventos sísmicos de $M_w > 4.5$ y sus respectivas profundidades extraídos del Servicio Geofísico de los Estados Unidos (USGS, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>) (Figura 2). Además, con el objetivo de descontar la actividad solar, se integró al estudio información de los **índices solares** Dst (monitorea variaciones magnéticas debidas al incremento de la corriente de anillo, se mide en nT), Ap (caracteriza la intensidad de la actividad geomagnética a escala planetaria a partir de la medición de la componente horizontal del campo magnético observado en 13 estaciones, de las cuales 11 corresponden al hemisferio norte y dos al sur) y F10.7 cm (mide las emisiones de radio F10.7 cm que se originan en la alta cromosfera y en la corona de la atmósfera solar), obtenidos del *Geomagnetic Data Service of Kyoto* (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>).

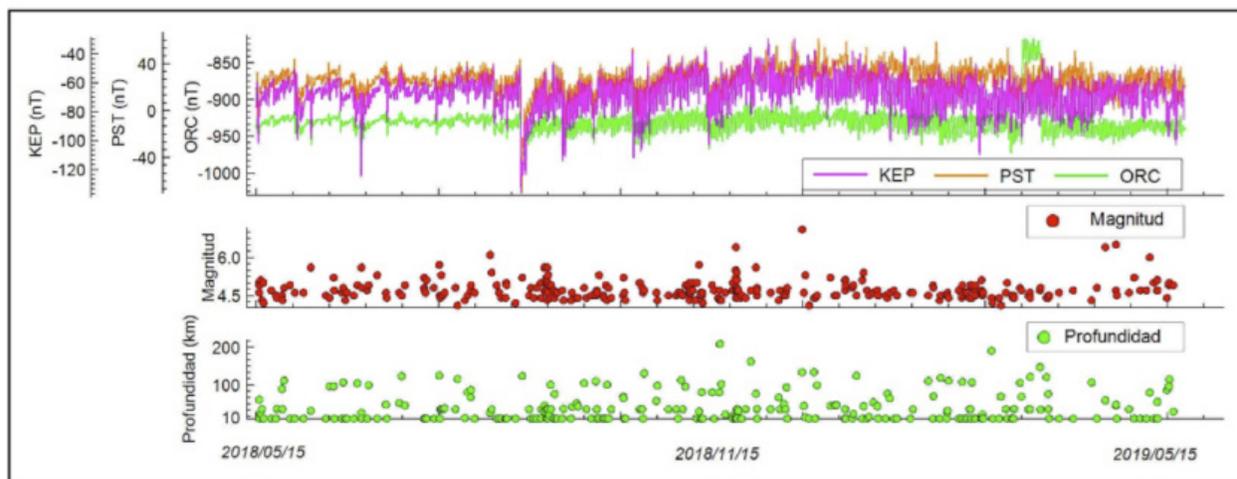


Figura 2. Variación diaria de la componente H del campo magnético terrestre en los observatorios PST, KEP y ORC. Magnitudes de sismos y sus profundidades durante el año de estudio.



La metodología empleada consistió en estudiar intervalos de entre 2 y 4 días de duración a lo largo del año, los que incluían, al menos tres, eventos sísmicos. La técnica para identificar posibles variaciones anómalas del campo magnético terrestre consistió en examinar los espectros de potencia wavelet de datos magnéticos de dos observatorios vecinos ORC y KEP (Grinsted *et al.*, 2004) para identificar frecuencias anómalas alrededor del momento de detección de sismos.

Se sustrajo el IGRF correspondiente a la época y ubicación de cada observatorio (Figura 3a). Posteriormente, en dichos intervalos, con el propósito de aislar el campo magnético originado por la variación solar local, se calcularon las diferencias (Δ) del campo entre los observatorios ORC y PST (Δ ORC-PST), consideradas como control, y KEP y ORC (Δ KEP-ORC), que incluyen los efectos de la actividad sísmica por la proximidad de KEP a la placa de Sándwich del Sur (Figura 3b). Los índices geomagnéticos de origen solar Dst, Ap y F10.7cm se tomaron como indicadores cualitativos de la actividad solar (Figura 3e, f, g). Luego se aplicó wavelets (wt) con decaimiento exponencial Morlet a las series temporales obtenidas a partir de la diferencia de datos registrados en cada observatorio y la componente correspondiente de IGRF (sólo se analizó la componente horizontal por presentar mayor variación) (Figura 4a,b).

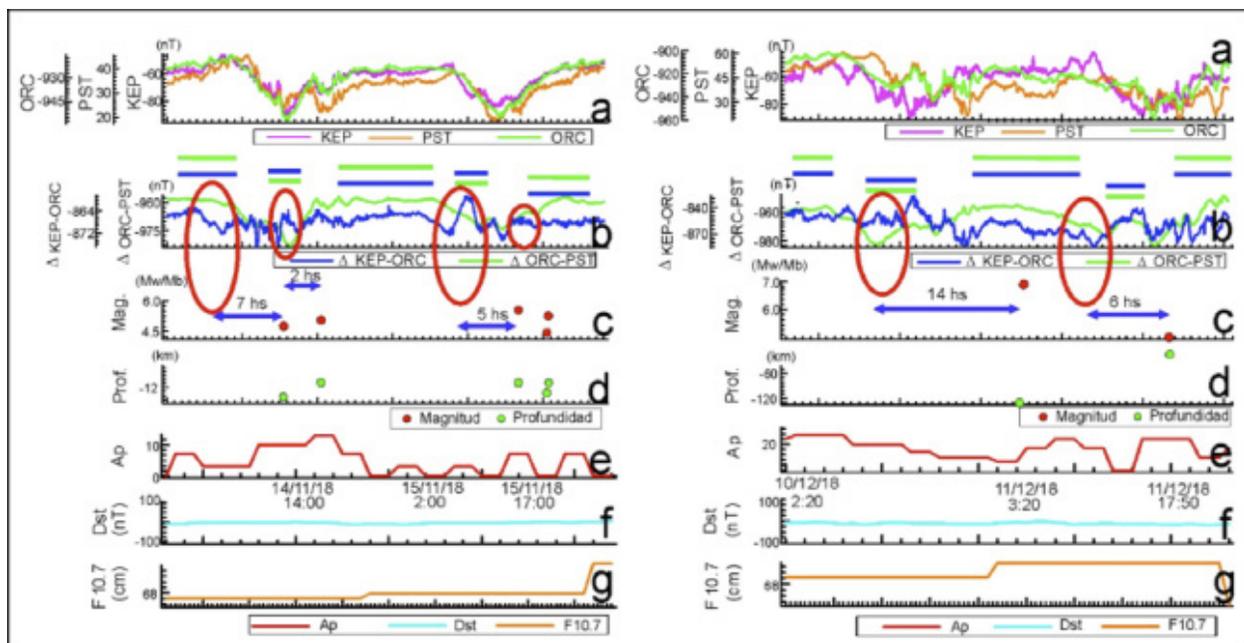
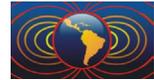


Figura 3. Derecha. Período del 14/11/18 al 16/11/18; Izquierda. Período del 10/12/18 al 12/12/18. Ambas: a) componente H en los observatorios, b) Diferencias entre observatorios lejanos ORC y PST (Δ ORC-PST) y cercano KEP (Δ KEP-ORC), c) y d) sismos y sus profundidades, e), f) y g) índices geomagnéticos de origen solar (parámetros de actividad solar).

3. Resultados y conclusiones

El paso siguiente consistió en comparar cualitativamente la información de los observatorios, las diferencias (Δ), la ocurrencia de sismos, sus profundidades y los parámetros solares. Se seleccionaron 2 eventos sísmicos significativos, donde las magnitudes de los mismos fueron: 6.4 Mw/Mb (54.7°S; 25.5° W) próximo a KEP y 7.1 Mw/Mb (58.5°S; 26.4° W) próximo a ORC.

En la Figura 3a, se observa para períodos representativos (Derecha: del 14/11/18 al 16/11/18, Izquierda: del 10/12/18 al 12/12/18) la componente horizontal del campo magnético destacándose la gran variabilidad de la misma principalmente en KEP y ORC respecto de PST habiéndose descontado la componente horizontal del IGRF correspondiente a la época y ubicación de cada observatorio. Por otro lado, la Figura 3b, muestra un cambio de fase en el registro de las Δ , mientras que Δ KEP-ORC presentó picos, Δ ORC-PST presen-



tó valles (elipses rojas) en lapsos de entre 5 y 14 horas previos a la actividad sísmica en ambos registros. Las rayas horizontales muestran el cambio de fase poco antes y después de cada evento sísmico (mientras que una curva se adelanta, la otra se retrasa). Las figuras 3c y d registran el evento sísmico principal y su profundidad y alguno más de menor intensidad. Las figuras 3e, f y g dan cuenta que en el lapso elegido la actividad geomagnética asociada con la actividad solar fue despreciable ya que todos los registros indicaron días quietos.

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos al aplicar wavelets a los registros magnéticos obtenidos en las dos estaciones geomagnéticas KEP y ORC para los períodos escogidos. Se observa claramente la presencia de pequeñas fluctuaciones con $\tau \sim 4.25$ h en buena parte del intervalo en el que se producen los eventos sísmicos para la estación cercana KEP en el período del 14 al 16 de noviembre de 2018 (Figura 4 Izquierda) mientras que en el período del 10 al 12 de diciembre de 2018 esas fluctuaciones se muestran en la estación ORC (Figura 4 Derecha). Se observa un aumento de la intensidad espectral, algunas horas antes y después de la producción de los eventos sísmicos. Así también es posible observar en ambos registros la periodicidad diaria.

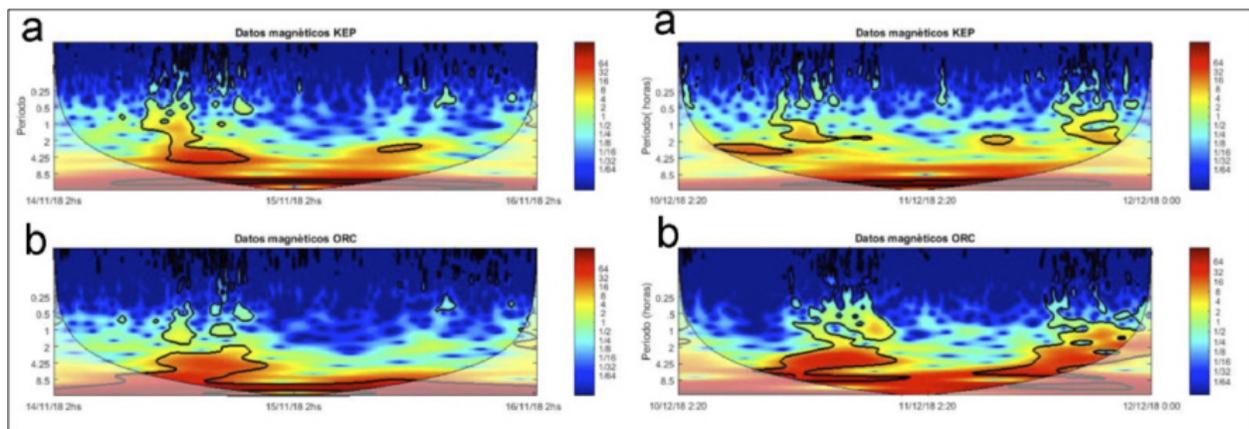


Figura 4. Derecha. Período del 14/11/18 al 16/11/18; Izquierda. Período del 10/12/18 al 12/12/18. Ambas: a) diagrama de frecuencias aplicadas a KEP, b) diagrama de frecuencias aplicadas a ORC.

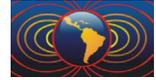
Se han detectado variaciones anómalas en las estaciones KEP y ORC próximas a la zona de alta actividad sísmica. El resultado obtenido a partir del análisis espectral indica un registro de variaciones geomagnéticas anómalas algunas horas antes y después de los distintos eventos sísmicos estudiados de alrededor de (20-40) nT.

Estos resultados, siendo que fue descontado el efecto de la componente horizontal interna y el efecto de la actividad solar sugieren que las variaciones anómalas en los datos de los observatorios tienen su origen tectónico.

Se necesita más evidencia para una mejor evaluación de posibles fenómenos geomagnéticos relacionados con terremotos por lo que se pretende hacer un seguimiento continuo en un lapso mayor que incluya eventos más significativos que permitan hallar posibles correlaciones con la actividad sísmica.

Referencias

Kushwah V, Singh V, Singh B. 2009. Ultra-low frequency (ULF) amplitude observed at Agra (India) and their association with regional earthquakes. *Phys Chem Earth*. 34:367–272.



- Leat, P.T., Smellie, J.L., Millar, I.L., Larter, R.D., 2003. Magmatism in the South Sandwich arc. In: Larter, R.D., Leat, P.T. (Eds.), *Intra-Oceanic Subduction Systems: Tectonic and Magmatic Processes. Geological Society, London Special Publications, 219*, pp. 285–313.
- Takla E., A. Khashaba, Abdel Zaher M., Yoshikawa A. & T. Uozumi (2018) Anomalous ultra-low frequency signals possibly linked with seismic activities in Sumatra, Indonesia, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 7:2*, 247-252, DOI: 10.1016/j.nrjag.2018.04.004.
- Thomas, C., Livermore, R.A., Pollitz, F.F., 2003. Motion of the Scotia Sea plates. *Geophys. J. Int. 155*, 789–804.
- Grinsted, A., Moore J. C., Jevrejeva S. 2004. *Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series*. *Nonlin. Process. Geophys.* 11, 561-566.