

MODELO FISICO-MATEMATICO DE UN EVENTO GEOMAGNETICO REGISTRADO EN SEDIMENTOS DEL PLEISTOCENO TARDIO EN LA ARGENTINA

A.M. Sinito[™], A.M. Walther^{*}, M.J. Orgeira^{*} y C. Conti^{™*}

^{*} Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas,
⁺ Universidad de Buenos Aires, # Universidad Nacional del Centro

Resumen

Se evalúa un modelo físico-matemático, que describe el comportamiento del campo magnético terrestre durante una excursión o reversión de polaridad. Dicho modelo consiste en un dipolo central principal, cuya intensidad oscila senoidalmente y ocho dipolos radiales oscilantes y derivantes, localizados cerca de la interficie manto-núcleo. Para llevar a cabo dicha evaluación, se comparan los resultados teóricos surgidos del modelo con los obtenidos del estudio paleomagnético de sedimentos del subsuelo de la ciudad de Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires y de sedimentos paleoestuarícos aflorantes cerca de Gualeguaychú, Prov. de Entre Ríos, asignados al Pleistoceno tardío, en los que se ha registrado un evento magnético.

Luego del ajuste de algunos de los parámetros del modelo, se observó una buena correlación entre los perfiles de Declinación e Inclinación magnéticas teóricos y los surgidos del estudio paleomagnético. Los resultados obtenidos en este trabajo parecen confirmar que los registros de Gualeguaychú y Bahía Blanca corresponden a un mismo evento magnético.

Abstract

A physico-mathematical model for describing the behaviour of the geomagnetic field during an excursion or reversion of polarity is evaluated. This model uses one main central dipole, whose intensity oscillates sinusoidally, and eight radial oscillating and drifting dipoles located near the core-mantle interface. The analysis is carried out comparing the theoretic results obtained from the model with paleomagnetic data from sediments of the subsoil of the city of Bahía Blanca, Prov. of Buenos Aires and from paleoestuarine sediments outcropping near Gualeguaychú, Prov. of Entre Ríos, assigned to the late Pleistocene, in which a magnetic event was recorded.

After fitting some parameters of the model, a good correlation between the theoretic and paleomagnetic profiles of Declination and Inclination is obtained. The conclusions confirm that the record of Gualeguaychú y Bahía Blanca belong to the same magnetic event.

1. Introducción

Se han postulado numerosos modelos físico-matemáticos para describir el campo magnético terrestre (cmt) y sus cambios en el tiempo, tanto en lo que respecta a variaciones seculares como a excursiones y reversiones de polaridad (Allredge y Hurwitz, 1964; Bochev, 1975; Coe, 1977; Hogg, 1978; Peddie, 1979; Liddicoat, 1979; Laj et al, 1989; Sinito, 1990). La gran cantidad de registros paleomagnéticos de transiciones de polaridad reportados recientemente en la literatura científica han permitido mejorar estos modelos, contribuyendo a un mayor entendimiento de los mecanismos de la geodinamo.

Así, por ejemplo, la similitud o diferencia de las trayectorias de los polos geomagnéticos virtuales (pgv) para una misma transición registrada en distintos sitios, permite obtener conclusiones respecto a la predominancia de un comportamiento dipolar o no dipolar, respectivamente, durante dicha transición. Los resultados obtenidos hasta el momento no permiten una conclusión definitiva. Es así, que mientras algunos trabajos postulan un comportamiento eminentemente no dipolar del cmt

durante las excursiones y reversiones, acompañado en algunos casos por un decaimiento de intensidad del campo dipolar (Coe, 1977; Peirce y Clarck, 1978; Liddicoat, 1979; Laj et al, 1989), otros sustentan la idea de un comportamiento dipolar asociado a inhomogeneidades laterales de temperatura en el límite manto-núcleo (Tric et al, 1991a y b). Es altamente probable que no todas las transiciones respondan a las mismas características y que ambos comportamientos se presenten en distintos eventos.

En el presente trabajo se evalúa un modelo físico-matemático que describe transiciones del cmt. Para ello se comparan sus resultados con datos paleomagnéticos, que reflejan la existencia de un evento de polaridad reversa del cmt, y han sido obtenidos de sedimentos pleistocenos tardíos de la Provincia de Entre Ríos (Orgeira et al, 1990) y de la Provincia de Buenos Aires (Walther et al, 1992).

2. Datos Paleomagnéticos

El estudio paleomagnético en la Provincia de Entre Ríos fue realizado sobre sedimentos paleoestuarícos aflorantes en las cercanías de Gualeguaychú (33°S, 58.5°W, Orgeira et al, 1990). Guida y Gonzalez (1984) sugirieron para dicha zona la existencia de condiciones estuarícas entre 26000±720 y 35400±1800 años, sobre la base de dataciones C^{14} de fósiles marinos del área.

El análisis de los resultados indicó la existencia de una excursión del cmt registrada en estos sedimentos, la cual fue correlacionada por Orgeira et al (1990), con la excursión definida en Lago Mungo, Australia (Barbetti y McElhinny, 1972). Uno de los argumentos para esta vinculación fue la correlación de los pgvs de parte del registro de Gualeguaychú con uno de los pgv de la excursión de Lago Mungo.

Estos datos paleomagnéticos fueron ya utilizados por Sinito y Orgeira (1990) para ajustar un modelo de cmt postulado para describir excursiones magnéticas.

Los datos paleomagnéticos de la Provincia de Buenos Aires utilizados fueron obtenidos del estudio de dos excavaciones realizadas en el subsuelo del suburbio sur de la ciudad de Bahía Blanca (38.7°S, 62.25°W, Walther et al, 1992). Los fósiles hallados en la secuencia estratigráfica fueron datados en diferentes cotas mediante el método C^{14} . Gonzalez (1984) presentó edades de 27500 y 35500 años; más recientemente Chaar y Farinati (1988) informaron una edad de 29580 años.

Del estudio paleomagnético surgió el registro de un evento del cmt de polaridad reversa, el cual presenta más de un pulso.

Las dataciones radimétricas disponibles para ambas zonas sumadas a las características geológicas observadas permiten asociar tanto la excursión como el evento a la ingresión marina pleistocena tardía.

Walther et al (1992) sugirieron que los registros magnéticos de Bahía Blanca y Gualeguaychú podrían representar el mismo evento del cmt. Asimismo señalaron que las posiciones de los pgvs obtenidas de los especímenes de la sección media de una de las excavaciones de Bahía Blanca, pueden correlacionarse con algunas de las posiciones de los pgvs surgidas del registro de la excursión magnética de Lago Mungo. Esto, sumado a lo mencionado anteriormente con respecto a los pgvs de Gualeguaychú permitió a Walther et al (1992) sugerir que los tres hallazgos (Mungo, Australia; Gualeguaychú y Bahía Blanca, Argentina) son registros parciales de un mismo evento magnético.

El primer objetivo de este trabajo fue la comparación e integración de los registros de Gualeguaychú y Bahía Blanca.

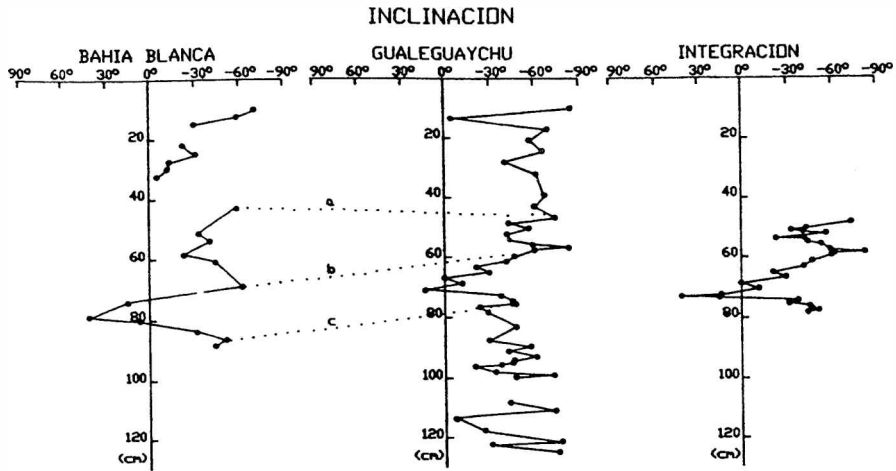


Fig.1 Perfiles de Inclinación en función de la posición estratigráfica correspondientes a Bahía Blanca (a), Gualeguaychú (b) y perfil integrado de ambas localidades (c).i, ii, iii son las líneas de correlación.

En primer lugar se analizaron los resultados obtenidos de las dos excavaciones de la ciudad de Bahía Blanca. Si bien no es posible una correlación estratigráfica sencilla entre ambas excavaciones, tal como fue señalado por Walther et al (1992), la comparación de los perfiles de inclinación (I) y declinación (D) (Fig. 2a y b de Walther et al, 1992) permitió distinguir correspondencia entre los rasgos magnéticos de dichos perfiles, lo que llevó a una correlación cronoestratigráfica y por ende a la construcción de perfiles integrados de I y D (Fig 1a y 2a).

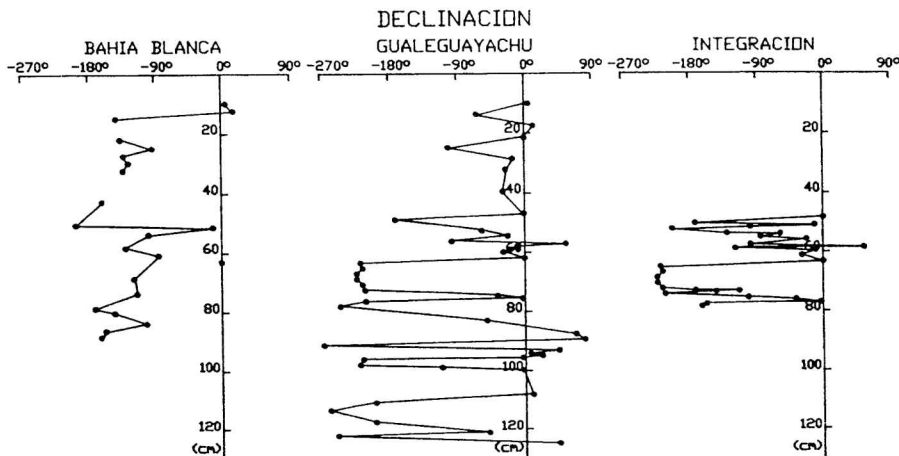


Fig.2: Perfiles de Declinación en función de la posición estratigráfica correspondientes a Bahía Blanca (a), Gualeguaychú (b) y perfil integrado de ambas localidades (c).

Estos perfiles integrados fueron comparados con los correspondientes a Gualeguaychú (Fig. 1b y 2b). Existe similitud entre los perfiles de I en parte del registro. En la Fig. 1 se han trazado líneas de correlación entre ambos perfiles. En los perfiles de D la correspondencia no es evidente, lo que podría interpretarse como una mayor fluctuación de este parámetro magnético que hace más difícil la correlación. Se utilizaron los puntos de correlación indicados en los perfiles de I (i,ii y iii) para llevar los perfiles de I y D a una escala de profundidad patrón. Luego se aplicó en todos los perfiles interpolación cada centímetro, y se compararon mediante el método de correlación cruzada. Los coeficientes de correlación r obtenidos fueron $r_I=0.93$ para los perfiles de I y $r_D=0.38$ para los de D. Esto confirma que se trata de dos registros de un mismo evento magnético, tal como fue sugerido por Walther et al (1992).

A partir de los resultados expuestos se decidió integrar los perfiles de Bahía Blanca con la parte media de los perfiles de Gualeguaychú. Para ello no se usaron los datos interpolados, sino los experimentales de ambos perfiles, para utilizar información original y no procesada. Los perfiles resultantes de la integración (Fig. 1c y 2c) son representativos de parte del registro de este evento en la Argentina.

3. Modelo

El modelo propuesto se basa en las ideas postuladas por Allredge y Hurwitz (1964) y Hogg (1978). Estos autores representaron el cmt mediante un dipolo central (dc) responsable del campo principal y ocho dipolos radiales (dr) ubicados en la interficie manto-núcleo. Cada uno de los dr induciría un dipolo secundario en el manto conductor inferior y el campo producido por cada par de dipolos (primario y secundario) sería equivalente al producido por un único dipolo ubicado a mayor profundidad en el núcleo. Las variaciones temporales del cmt son representadas en este modelo a través de la oscilación de la intensidad y la deriva longitudinal de los dr.

Sinito (1988,1990) modificó el modelo y ajustó los parámetros en juego, para aplicarlo al análisis de variaciones seculares registradas en el estudio paleomagnético de sedimentos del fondo de lagos del sudoeste argentino depositados en los últimos 6000 años. El resultado fue un modelo mixto: una primera parte consistente en un dc y ocho dr de intensidad oscilante, cinco de los cuales al mismo tiempo sufren una deriva longitudinal entre los 6000 y 3000 años de edad; una segunda parte (de los 3000 años hasta el presente) en la que se consideró que las velocidades de deriva van disminuyendo hasta llegar a un modelo de ocho dr estacionarios oscilantes.

La intensidad de los dr se expresa en este modelo como:

$$m_i(t) = a_{i0} \text{sen}(2\pi t/T_i + \phi_i)$$

donde a_{i0} es la amplitud, t el tiempo, T_i el período, ϕ_i la fase. La intensidad del dc se considero constante (M_0).

Sinito y Orgeira (1990) presentaron un modelo similar para la representación de la excursión magnética, ya mencionada, registrada en los sedimentos aflorantes en Gualaguaychú. Dado que se trataba de sedimentos de edad mayor de 3000 años se tomó la primera parte del modelo. Al mismo tiempo se consideró una transferencia de energía del dc a los dr, de forma que, senoidalmente, disminuye la intensidad del dc, sin llegar a cambiar de signo, y aumentan las amplitudes de los dr. Esta transferencia de energía no se hizo por igual a todos los dr, sino que se les dio más peso a aquellos cuyas posiciones durante la excursión se hallaban más cercanas a las de los pgs del registro paleomagnético.

La intensidad del dc (M) y las intensidades y amplitudes de los dr (m_i y a_i , respectivamente) se expresan como:

$$M(t) = M_0 - M_1 \text{sen}(2\pi t/P) ; \quad m_i(t) = a_i(t) \text{sen}(2\pi t/T_i + \phi_i) \\ a_i(t) = a_{i0} + a_{i1} \text{sen}(2\pi t/P);$$

donde M_0 y a_{i0} son los valores de intensidad del dc y las amplitudes de los dr respectivamente, que corresponden a períodos sin cambios de polaridad; M_1 y a_{i1} representan las amplitudes de las variaciones durante las transiciones, t indica el tiempo y P el período de oscilación. Cabe mencionar que en todos los casos se considera el tiempo aumentando de menor a mayor edad.

El modelo mostró un buen coeficiente de correlación con los datos experimentales en parte del registro, aunque se observó un desfase temporal entre las edades a las que se producían las mejores correlaciones para I y D ($r_I = 0.77$ cuando el modelo se aplicó para el período 40000-44700 años, $r_D = 0.73$ para el período 40400-45100 años).

En este trabajo se aplicó el modelo de Sinito y Orgeira (1990) para ser comparado con los resultados experimentales surgidos del perfil integrado. Dado que la integración se realizó con datos

provenientes de dos sitios, y que se comprobó que los resultados teóricos no variaban significativamente al ser aplicados a uno u otro de dichos sitios, debido a su cercanía, se tomaron como coordenadas geográficas para el cálculo de las I y D teóricas, el promedio de las coordenadas de Bahía Blanca y Guleguaychú (36°S, 60.5°W).

Se utilizaron los mismos parámetros presentados por Sinito y Orgeira (1990), con excepción de las a_{ij} . Para ajustar estos parámetros se volvió a analizar la relación entre las posiciones de los $pgvs$ del perfil integrado y las posiciones de los dr durante la excursión. Se puso especial atención a las latitudes, ya que debido al movimiento de deriva de los dr es muy difícil conocer su longitud, a menos que se tenga gran exactitud en la determinación de la edad de los sedimentos. Por lo expuesto se les dio más peso a los dipolos n°5, 7 y 8, haciendo que sus intensidades alcanzaran valores mayores que las de los otros dr . Los parámetros utilizados están resumidos en la Tabla 1.

El modelo fue aplicado entre los 20000 y los 60000 años, con distintos valores de tiempo de inicio de la oscilación de la intensidad del dc . Los valores teóricos de I y D fueron calculados a intervalos regulares de 50 años. Se aplicó un proceso de suavizado mediante promedio escalar corrido con una ventana de 150 años, dado que las amplitudes de las variaciones direccionales registradas a través del magnetismo remanente estable suelen ser menores que las amplitudes de las variaciones del cmt (Creer y Tucholka, 1983). Los perfiles teóricos fueron comparados con los experimentales, observándose similitudes, especialmente para las I, en el período entre 45000 y 50000 años, iniciando la disminución de la intensidad del dc a los 43000 años. Se utilizaron los rasgos característicos que permitían una correlación como puntos de referencia para convertir los perfiles experimentales, que se hallaban en función de la posición estratigráfica, en perfiles temporales. Los valores experimentales correspondientes a los perfiles integrados fueron luego interpolados con intervalos de 50 años, para poder aplicar el método de correlación cruzada con los datos teóricos. El método mostró buenos índices de correlación, pero se repitió la misma característica observada por Sinito y Orgeira (1990) respecto a un desfase en tiempo entre los ajustes de I y de D. Así la mejor correlación para la I se logra cuando los datos experimentales son comparados con los datos del modelo aplicados entre los 46150 y 48650 años ($r_I=0.74$), mientras que la mejor correlación para la D se logra con valores teóricos entre los 45850 y 48350 años ($r_D=0.56$).

Sinito y Orgeira (1990) atribuyeron el desfase observado en los datos de Guleguaychú al hecho de no contar con un registro del cmt continuo hasta el presente, y por lo tanto, a la imposibilidad de ajustar los parámetros del modelo de forma que represente en forma completa el comportamiento del campo. Siguiendo con este criterio, se tuvo en cuenta que en la aplicación original de este modelo a variaciones seculares para sedimentos de 0 a 6000 años se había concluido que los dr comenzaban a detenerse a partir de los 3000 años hasta concluir en dipolos estacionarios. Se aplicó entonces el modelo considerando que las velocidades utilizadas (Tab. 1) eran válidas hasta los 3000 años y a partir de ese momento eran cero.

Se aplicó el método ya mencionado (comparación de perfiles experimentales y teóricos, determinación de perfil experimental en función del tiempo, interpolación).

Modelo Físico-Matemático de un evento Geomagnético

Dip	Colat.(°) Long.(°)		Intensidad				Velocidad	
	t=0	t=0	Amplitud(10^{-1} mT)		Fase (°)	Periodo(años)	(°/año)	
			a_{10}/RT^3	a_{11}/RT^3	θ_i		T_i	t>3000 años
1	13.2	331.2	0.065	0.065	127.6	2130	0.17	
2	47.0	182.0	0.065	0.065	141.2	500	0.17	
3	61.6	63.6	0.065	0.065	172.1	1200	0.17	
4	80.8	240.3	0.065	0.065	315.2	1360	-0.26	
5	101.8	89.6	0.065	0.205	358.3	800	-0.26	
6	41.5	322.4	0.135	0.030	270.0	1360	-0.26	
7	139.0	52.0	0.076	0.205	275.6	1360	-0.26	
8	103.4	172.9	0.065	0.205	313.0	1360	-0.26	

RT: radio terrestre

Profundidad de los dr= 0.28 RT

$M_0/RT^3 = -0.56573 \cdot 10^{-1}$ mT ; $M_1/RT^3 = 0.36573 \cdot 10^{-1}$ mT

P= 22000 años.

Tiempo de inicio de la oscilación de la intensidad del dc: 43000 años.

Velocidad de deriva de los dr para t<3000 años: 0°/año

Tabla 1. Parámetros utilizados en el modelo físico matemático que representa el evento geomagnético.

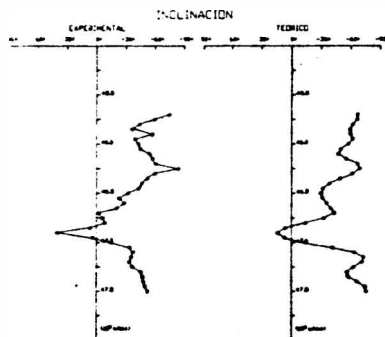


Fig.3. Perfil Experimental: Inclínación correspondiente a la integración de los datos experimentales de Bahía Blanca y Gualeguaychú, luego de ser interpolados y graficados en función de la edad a partir de la correlación con los datos teóricos. Perfil Teórico: Inclínación correspondiente al modelo teórico suavizado mediante promedio escalar corrido con ventana de 150 años.

Los perfiles teóricos y experimentales de I y D comparados se encuentran en las fig. 3 y 4, respectivamente. Se observó que desaparecía el desfase y que se obtenía una buena correlación de los valores experimentales de I y D para valores teóricos entre los 45700 y los 47500 años ($r_I=0.81$, $r_D=0.60$). Cabe mencionar que en el caso de la D, si bien las tendencias de los perfiles experimental y teórico son parecidas hay un desplazamiento de los valores de D teóricos respecto de los experimentales.

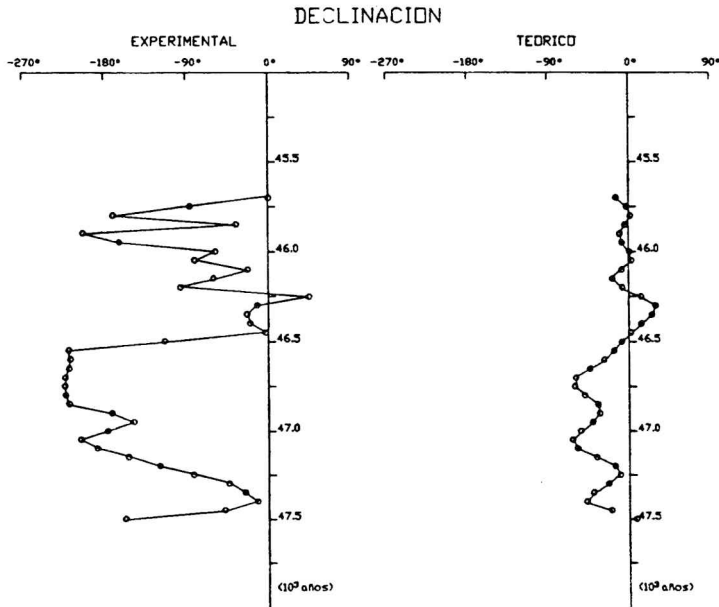


Fig.4 Perfil Experimental: Declinación correspondiente a la integración de los datos experimentales de Bahía Blanca y Gualeguaychú, luego de ser interpolados y graficados en función de la edad a partir de la correlación con los datos teóricos. Perfil Teórico: Declinación correspondiente al modelo teórico suavizado mediante promedio escalar corrido con ventana de 150 años.

Para convalidar el método utilizado para la elección de los dr de mayor influencia, se calcularon de acuerdo al modelo las posiciones de los dr aproximadamente 46000 años atrás. Dichas posiciones son mostradas junto a las posiciones de los PGVs del perfil experimental integrado en la Fig. 5. Se observa que las posiciones de casi todos los dr se encuentran cerca de algunos de los PGV y que en particular los dipolos 5, 7 y 8 se ubican cerca de aquellos pgvs que corresponden a la parte del registro que muestra direcciones más apartadas de la dirección normal.

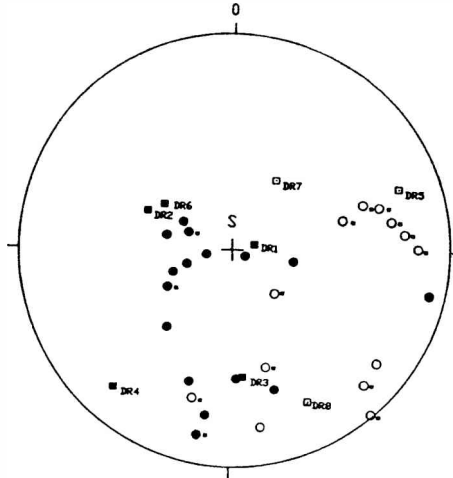


Fig.5 Representación estereográfica de los pgy correspondientes al perfil experimental integrado (•, latitud norte, ◦, latitud sur) y de la ubicación de los dipolos radiales hace aproximadamente 46000 años (■, latitud norte, □, latitud sur). indica los pgy correspondientes a la parte del registro con mayor fluctuación en las direcciones.

4. Conclusiones

Se confirma que los registros magnéticos obtenidos en dos localidades de la Argentina (Guaeguaychú y Bahía Blanca) corresponden al mismo evento de polaridad reversa dentro de la Epoca Brunhes.

El modelo presentado resulta adecuado para la descripción de parte de este evento de polaridad.

Este modelo sugiere una edad para este evento de, aproximadamente, 46000 años, lo cual es consistente con lo sugerido por Sinito y Orgeira (1990), pero cabe mencionar que esta edad no puede considerarse absoluta, ya que la falta de un registro continuo hasta nuestros días impide, como ya se ha dicho, la posibilidad de un modelado completo. Esta indeterminación puede ser la causa de la discrepancia de estos valores con las dataciones con las que se cuenta.

El hecho que el comportamiento del cmt pueda ser descrito por un aumento de actividad de las fuentes del campo no dipolar, frente a una pérdida de energía de aquellas correspondientes al campo

dipolar, parecería indicar que durante este evento, si bien el campo mantuvo características dipolares, ya que se mantiene aproximadamente un 40% de la intensidad del dc, la influencia de la componente no dipolar es determinante para que se produzca la reversión. Esto sería consistente con la conclusión obtenida por Peirce y Clark (1978), los que correlacionaron los eventos Laschamp, Mungo y Maelifell. Dichos autores, sobre la base del comportamiento de las intensidades del magnetismo remanente natural para los registros de los tres registros, sugieren que los mismos se deben más al crecimiento y decaimiento de las características no dipolares que a una verdadera reversión dipolar.

Agradecimientos: Los autores desean expresar su agradecimiento: al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y a la Universidad de Buenos Aires y a la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Aldredge, L.R. y Hurwitz, R., 1964. Radial dipoles as the sources of the Earth's main magnetic field. *Journ. of Geophys. Res.*, 69, 12, 2631-2639.
- Barbetti, M. y McElhinny, M., 1972. Evidence of a geomagnetic excursion 30000 yr BP. *Nature*, 239, 5371, 327-330.
- Bochev, A.Z., 1975. Presenting the Earth's magnetic field as a field of six optimal dipoles. *C.R. Acad. Bulgar Sci.*, 28, 569-571.
- Coe, R.S., 1977. Source models to account for Lake Mungo paleomagnetic excursion. *Nature*, 269, 49-51.
- Creer, K.M. y Tucholka, P., 1983. Epilogue. Geomagnetism of baked clays and sediments. Creer, K.M., Tucholka, P. y Barton, C.E. (eds.) Elsevier, Amsterdam.
- Chaar, E. y Farinati, E., 1988. Evidencias paleontológicas y sedimentológicas de un nivel marino pleistocénico en Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *II Jorn. Geol. Bon.*, Actas, 47-54.
- Gonzalez, M., 1984. Depósitos marinos del Pleistoceno superior en Bahía Blanca, Pcia. de Buenos Aires. *IX Cong. Geol. Arg.*, Actas, 3, 538-555.
- Guida, N.G. y Gonzalez, M.A., 1984. Evidencias paleoestuarías en el sudeste de Entre Ríos, su evolución con niveles marinos relativamente elevados del Pleistoceno superior y Holoceno. *IX Cong. Geol. Arg.*, Actas, III, 557.
- Hogg, T.E., 1978. The holocene geomagnetic field in Europe. Ph. D. Dissertation, University of Edinburgh.
- Laj, C., Weeks, R. y Fuller, M., 1989. Observations and models of reversals transition fields. *Geomagnetism and Paleomagnetism*. Lowes et al (ed.) Kluwer Academic Publisher, 185-203.
- Liddicoat, J.C., 1979. Monolake geomagnetic excursion. *Journ. of Geophys. Res.*, 84, B1, 261.
- Orgeira, M.J., Beraza, L., Vizán, H., Bobbio, M.L. y Vilas, J.F., 1990. Evidence for a geomagnetic field excursion in the Late Pleistocene (Entre Ríos, Argentina). *Quatern. of South America a. Antarctic Penin.*, 6, 173-188.
- Peddie, N., 1979. Current loop models of the Earth's magnetic field. *Journ. of Geophys. Res.*, 84, B9, 4517.
- Peirce, J.W. y Clark, M.J., 1978. Evidence from Iceland on Geomagnetic reversal during the Wiscosian Ice Age. *Nature*, 273, 456-458.
- Sinito, A.M., 1988. Análisis de las variaciones geomagnéticas paleoseculares recientes en el Hemisferio Sur y su relación con los modelos físicos que postulan el origen del campo magnético terrestre. Tesis. Universidad de Buenos Aires.
- Sinito, A.M., 1990. Models of geomagnetic secular variations on recent times for South America. *Phys. of the Earth a. Planet. Int.*, 64, 2, 133-142.
- Sinito, A.M. y Orgeira, M.J., 1990. Analisis del comportamiento del campo geomagnético durante una excursión. *Geoacta*, 17, 2, 115-124.
- Tric, E., Laj, C., Jéhanno, C., Valet, J.P., Kissel, C., Mazaud, A., Iaccarino, S., 1991. High resolution record of the Upper Olduvai transition from Po Valley (Italy) sediments: support for dipolar transition geometry?. *Phys. of the Earth a. Planet. Int.*, 65, 319-336.
- Tric, E., Laj, C., Valet, J.P., Tucholka, P., Paterne, M., Guichard, F., 1991. The Blake geomagnetic event: transition geometry, dynamical characteristics and geomagnetic significance. *Earth a. Planet. Sci. Lett.*, 102, 1-13.
- Walther, A.M., Orgeira, M.J., Sinito, A.M. y Conti, C., 1992. Nuevas evidencias de un evento del campo magnético terrestre registrado en sedimentos pleistocenos tardíos en Argentina. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, en prensa.