

LOS MODELOS DEL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Julio César Gianibelli
Departamento de Geomagnetismo,
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas,
Universidad Nacional de La Plata,
Paseo del Bosque s/n La Plata, Argentina

Se realiza una revisión de los objetivos de los modelos del Campo Magnético Terrestre, con más énfasis en los matemáticos ya que los modelos físicos se encuentran aún en desarrollo. Se presentan los resultados de los diferentes análisis en esféricos armónicos realizados desde 1550 a 1995 y las curvas de mejor ajuste a los resultados obtenidos para los coeficientes de primer orden, que representan el campo dipolar, de los desarrollos. Se observa que en valor medio el momento dipolar reducido disminuye en una tasa de 20 nT por año, concluyéndose que dicho momento dipolar solo podrá anularse si simultáneamente lo hacen los coeficientes de primer orden.

INTRODUCCION.

Las determinaciones absolutas de los elementos del Campo Magnético Terrestre (CMT), efectuadas en Observatorios Permanentes, Estaciones de Repetición y relevamientos, están compuestas por la suma vectorial de cuatro campos magnéticos, cuyas fuentes son las siguientes:

1) En el núcleo externo de la Tierra se genera por un efecto dinamo el Campo Principal.

2) Las rocas de la corteza terrestre magnetizadas directamente por el Campo Principal y por la magnetización remanente producida por paleocampos, como asimismo las acumulaciones de minerales magnéticos; hasta la profundidad de la isoterma de Courie de 580°C que corresponde, para la magnetita, son la fuente del Campo Cortical.

3) Los sistemas de corrientes de la Magnetósfera e Ionósfera producidos por la interacción entre el Sol y la Tierra, constituyen al Campo Externo.

4) Finalmente los cambios producidos por el flujo magnético del Campo Externo inducen en el Océano, Corteza, Manto y posiblemente el Núcleo, corrientes que a su vez son la fuente del Campo Inducido.

Estimativamente la relación en porcentajes de la magnitud determinada de la intensidad total del CMT resulta ser que el 95% corresponde al Campo Principal y Cortical (denominado "Campo Propio"); y el 5% restante a los Campos Externos e Inducido. Es por ello que el modelado de los Campos Principal y Cortical es importante tanto para las Relaciones Terrestres-Solares como para comprender el origen y evolución del CMT.

Dos tipos de modelos existen del CMT, el matemático basado en la propiedad de desarrollar la función potencial en esféricos armónicos sobre la superficie terrestre y obtener a partir de ella las componentes del campo como una expresión

multipolar del campo en superficie; el otro es el físico basado en la resolución de los sistemas de ecuaciones de la Magnetohidrodinámica aplicado al núcleo externo de la Tierra. Los modelos matemáticos permiten separar las componentes cuyas fuentes son de origen externas de las internas y de estas últimas, las que caracterizan al "Campo Propio", el orden de los coeficientes que representan al Campo Principal y de la Corteza. Desde la superficie de la Tierra y hasta una altura de 90km no se encuentran fuentes ($j=0$), por lo tanto se verifica que el vector B cumple con la igualdad $\nabla \times B = 0$ de lo cual se desprende que $B = -\nabla V$ y $\nabla^2 V = 0$. Desarrollando la función potencial en esféricos armónicos se tiene la expresión siguiente para los aportes "internos" y "externos":

$$V(r, \theta, \phi) = a \sum_{n=1}^k \sum_{m=0}^n (a/r)^{n+1} (g_{n,m} \cos m\phi + h_{n,m} \sin m\phi) P_n^m(\theta) + \\ + a \sum_{n=1}^k \sum_{m=0}^n (r/a)^n (q_{n,m} \cos m\phi + s_{n,m} \sin m\phi) P_n^m(\theta)$$

donde $g_{n,m}$ y $h_{n,m}$ representan los coeficientes del desarrollo para las fuentes de origen interno, mientras que $q_{n,m}$ y $s_{n,m}$ lo son para las fuentes de origen externo. $P_n^m(\theta)$ son las funciones asociadas de Legendre cuasi normalizadas por Schmith, (Langel, 1987). Aplicando el operador gradiente en coordenadas esféricas a V se obtienen las componentes del CMT dadas por:

$$B_\theta = -r^{-1} (\partial V / \partial \theta) \quad B_\phi = -(r \sin \theta)^{-1} (\partial V / \partial \phi) \quad B_r = -\partial V / \partial r$$

El espectro de densidad de energía del desarrollo correspondiente a las fuentes de origen interno hasta el orden $k=66$ realizado con la información provista por el satélite Magsat demostró, que el campo de origen interno, residente en el núcleo, se representaba por los 12 primeros órdenes del desarrollo; posiblemente los órdenes 13 a 16 estarían vinculados a fuentes residentes en el manto, los coeficientes correspondientes a los órdenes comprendidos entre 17 y 44 a campos de fuentes corticales y el resto al nivel de ruido presente en los datos (Cain, 1990).

El objetivo del presente trabajo consiste en estudiar la evolución del campo dipolar de la Tierra a través de los coeficientes de primer orden de los distintos desarrollos en esféricos armónicos de los modelos correspondientes a las épocas comprendidas entre 1550 a 1995.

Barracough (1978) confeccionó una base de datos formada por los coeficientes de todos los modelos de campo geomagnético desde 1550 hasta 1978, la cual fue actualizada para el presente estudio hasta 1995. Este autor también, realiza una revisión de los fundamentos teóricos de los diferentes formas de normalización en los desarrollos en esféricos armónicos. Posteriormente Langel (1987) efectúa un detallado análisis de la representación analítica del campo principal.

ANÁLISIS DE LOS DATOS.

A partir de la base de datos constituida por los coeficientes de los diferentes desarrollos en esféricos armónicos desde 1550 hasta 1995, la cual incluye los modelos definitivos adoptados por la IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy): DIGRF 1900, 1905, ..., 1990 e IGRF 1995, se determinaron las funciones polinómicas de menor grado y mejor ajuste a los coeficientes de primer orden de dichos modelos correspondientes al dipolo centrado. Es necesario destacar que el 85% de la intensidad total del "Campo Propio", se debe al campo del dipolo centrado y para este intervalo resultaron un polinomio de 4to. grado para el ajuste del coeficiente g_{10} y de 5to. y 7mo grado para los coeficientes g_{11} y h_{11} . En la figura 1 se muestra la distribución temporal de los coeficientes representada por símbolos y por línea llena los polinomios de ajuste. La variación temporal, denominada como "Variación Secular (VS)", de estas funciones polinómicas se representan en la figura 2. El cálculo de la VS se realizó numéricamente sobre los valores obtenidos a partir del muestreo de la función polinómica para cada año desde 1550 al 2000 mediante la forma recurrente $df(j)/dt = (F(j+1) - F(j-1))/2$, donde $F(j)$ representa a dicha función y j al año. Se observa que la velocidad de cambio para g_{10} tiende a el valor de 20nT/año, de la misma manera que g_{11} , mientras que h_{11} muestra un acentuado decrecimiento de +26nT/año a -29nT/año, con un comportamiento de cambio de tendencia mayor que el evidenciado por g_{10} y g_{11} . La aceleración media para este intervalo de tiempo (1550-2000), fue calculada como la tendencia de la recta de regresión de la función velocidad, resultando ser de: $\partial^2 g_{10} = 0.02 \text{ nT/año}^2$; $\partial^2 g_{11} = 0.05 \text{ nT/año}^2$ y $\partial^2 h_{11} = 0.08 \text{ nT/año}^2$. Estos parámetros cinemáticos permiten establecer la evolución temporal de la expresión dipolar del CMT en superficie, pero no representan a la fuente física del fenómeno, pudiendo relacionarse con algún sistema de velocidades del fluido en el núcleo líquido externo terrestre, que a través del modelo de geodínamo represente la parte dipolar del campo difundido en la superficie.

Las figuras 3 y 4 muestran de la misma manera que las anteriores el momento dipolar reducido (M_0) y la latitud (θ_d) y longitud geográfica (ϕ_d) de la posición de los polos geomagnéticos, tanto para los coeficientes conformantes de la base de datos como para los valores discretizados a intervalos de 1 año, a partir de las funciones polinómicas. Estos parámetros dipolares se calcularon a partir de los coeficientes de orden 1 siendo las relaciones matemáticas usadas las siguientes: $M_0 = (g_{10}^2 + g_{11}^2 + h_{11}^2)^{1/2}$; $\cos \theta_d = -g_{10}/M_0$ y $\tan \phi_d = h_{11}/g_{11}$ (Fraser-Smith 1987). A partir de las curvas que ajustan a los valores de M_0 , θ_d y ϕ_d se determinaron la VS mediante la forma discreta ya descripta.

La VS de M_0 , θ_d y ϕ_d muestran un aumento a partir de 1950, estimandose para el 2000 en -25nT/año para M_0 y del orden de -3.4 y -5.6 minutos de arco, respectivamente para θ_d y ϕ_d .

AJUSTE DE LOS COEFICIENTES DE LOS CGR COEFICIENTES g_{10} , g_{11} , y h_{11}

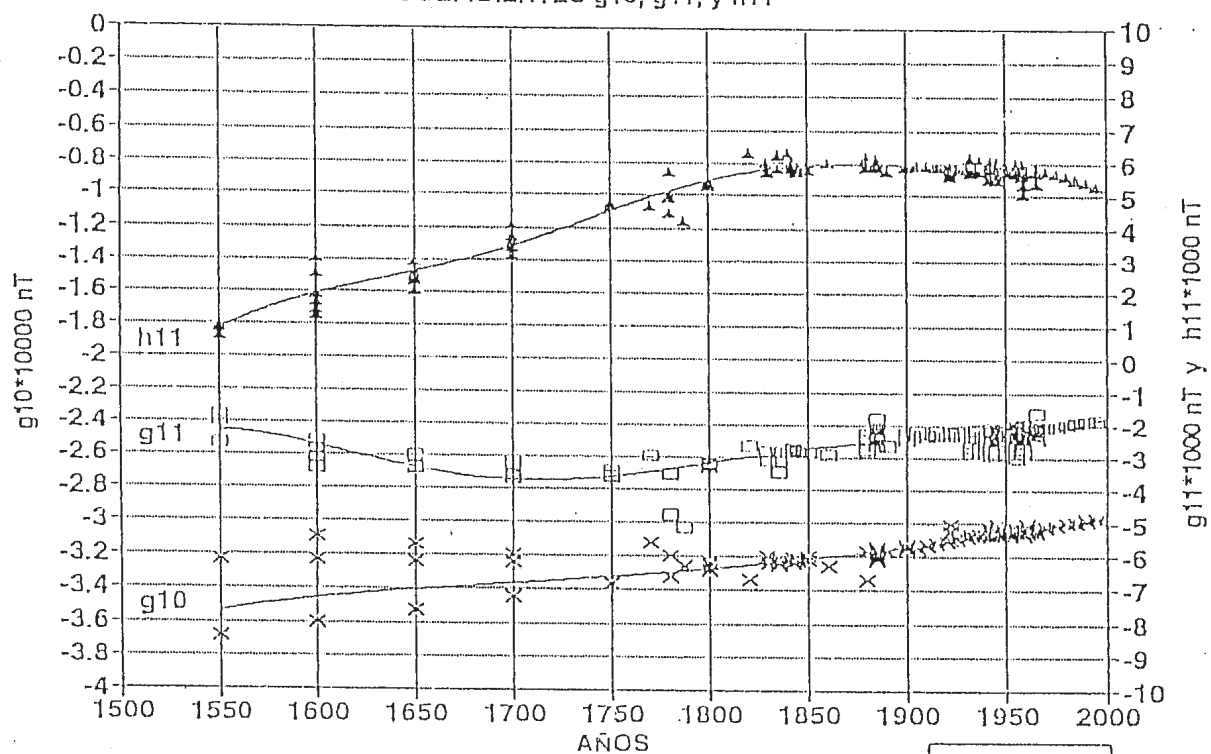


FIGURA 1

COEFICIENTES g_{10} , g_{11} y h_{11} DEL DIPOLO VARIACION SECULAR (VS)

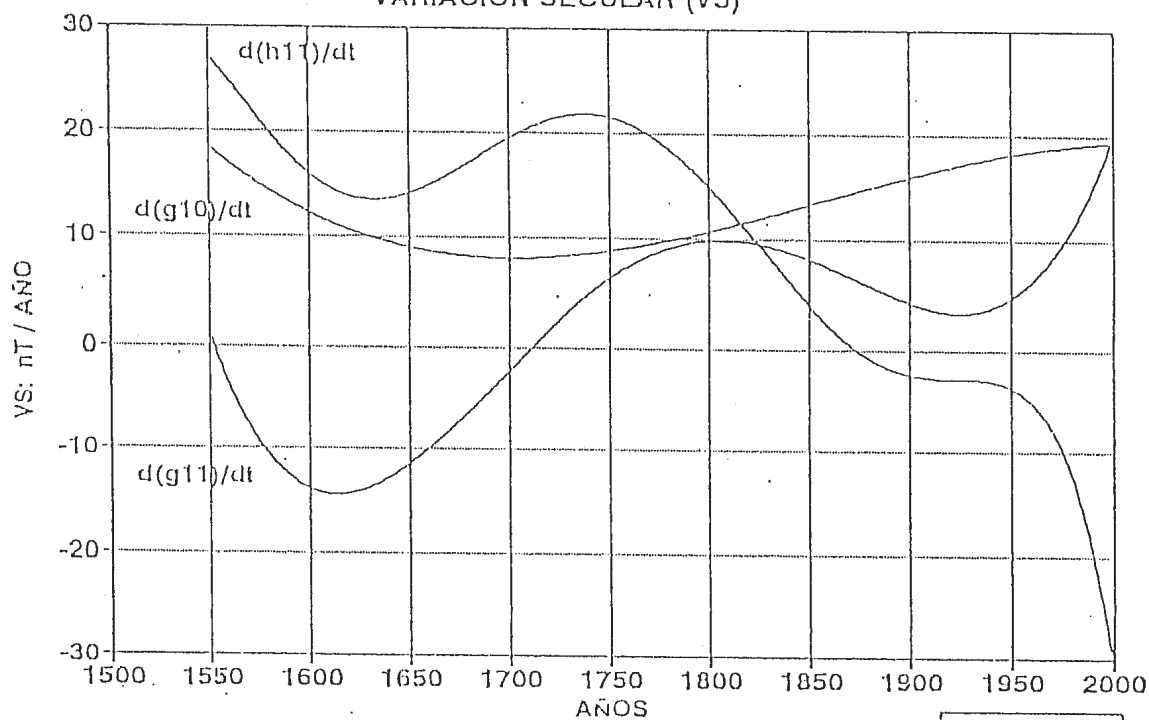


FIGURA 2

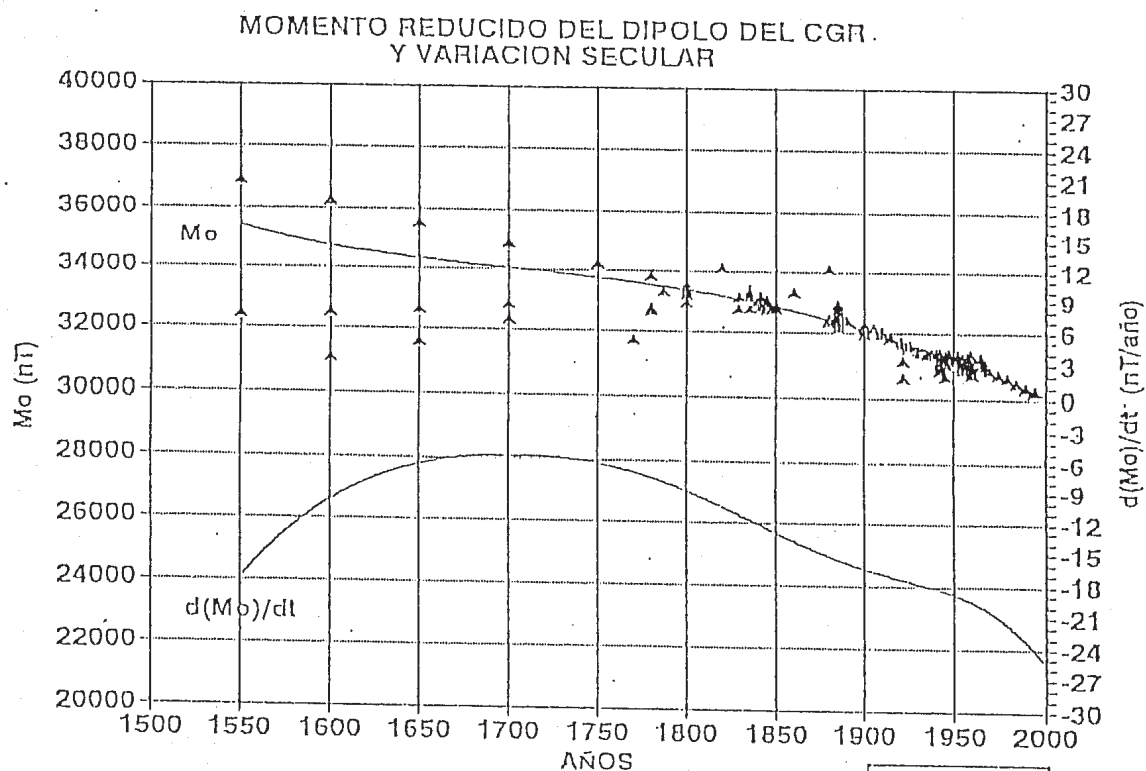


FIGURA 3

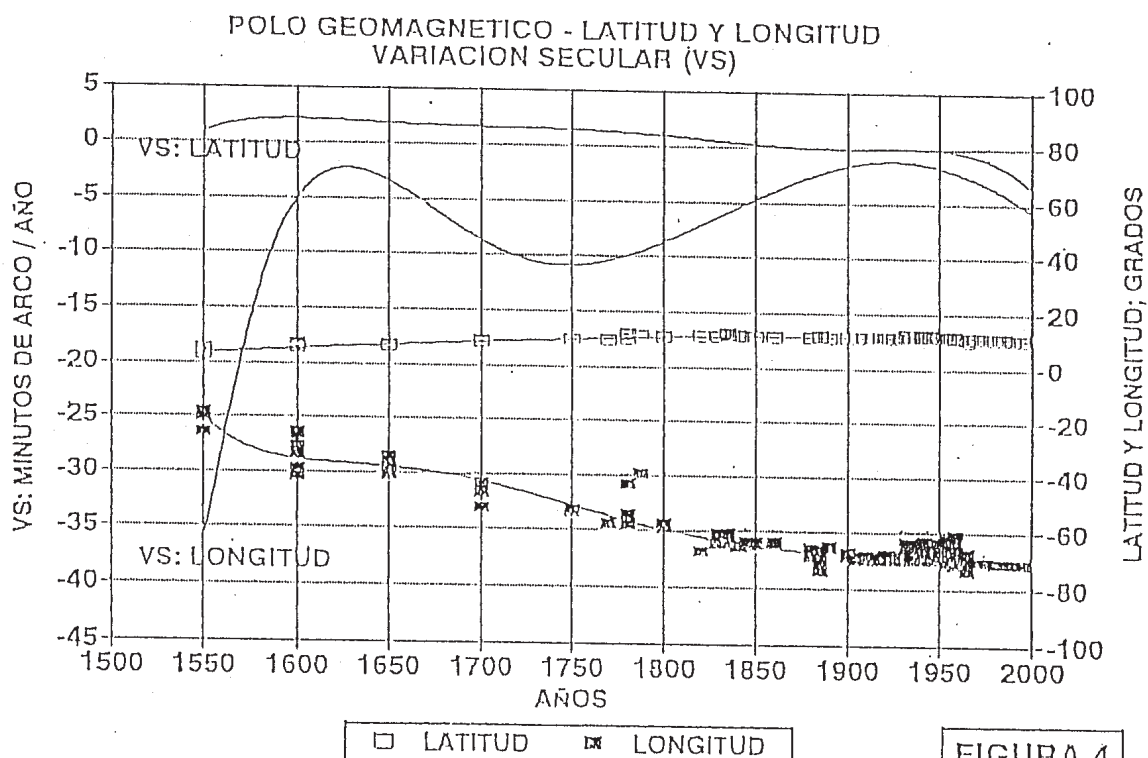


FIGURA 4

CONCLUSIONES.

Los modelos matemáticos son una herramienta importante en la comprensión de las diferentes fenomenologías del CMT, tal como la separación entre las componentes dipolares y no-dipolares (orden del desarrollo en esférico armónico >1). La primera conclusión a la luz de los casi 450 años de información que facilitaron la confección de los modelos descriptos, es la existencia de una variabilidad en los coeficientes del dipolo que indican posibles componentes periódicas. La metodología utilizada ha permitido estimar la VS de todos los elementos del dipolo y considerar la disminución del valor de M_0 . Cabe preguntarse si se anulará en alguna época, lo cual resalta cierto solo si los coeficientes de 1er. orden lo hacen simultáneamente. Esto implica que M_0 ha de tener en el tiempo oscilaciones donde se minimice su valor y en otras donde se anule. Esta característica indicaría que podría correlacionarse con los estadios del CMT denominados "excur-siones".

REFERENCIAS.

- BARRACLOUGH D.R., 1978. Spherical Harmonic Models of the Geomagnetic Field. Geomagnetic Bulletin 8. Inst. of Geol. Sci. London. England. 1-66.
- CAIN J., 1990. Geomagnetic Field Analysis. Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. VanNostrand, Reinhold, N.Y. (Ed. by D.E. JAMES) 517-522.
- FRASER-SMITH A.C., 1987. Centered and Eccentric Geomagnetic Dipoles and Their Poles, 1600-1985. Rev. of Geoph. Vol. 25, 1-16
- LANGEL R.A., 1987. The Main Field. Geomagnetism Vol. 1, Ed. by J. JACOBS). Academic Press. N.Y. Chap. 3