

## PREDICCIÓN LINEAL DE LOS MODELOS INTERNACIONALES DE REFERENCIA GEOMAGNETICO 1900-2005

*Julio César Gianibelli.*

Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía de la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.  
geofisicogianibelli@yahoo.com.ar TE: (0221)4236593/4 int 132.

### RESUMEN

Desde 1900 hasta 2005 se cuenta con los coeficientes del desarrollo en esféricos armónicos del Campo Magnético Terrestre hasta el orden 10 cada 5 años, como base de datos para efectuar una predicción lineal de los modelos del Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF), desde el 2010 en adelante. Los modelos para el año 1945 hasta el año 2000 son definitivos, mientras que los modelos de los años 1900 hasta 1940 y 2005, son provisorios. Los primeros se denominan con la sigla DGRF, por Definitive Geomagnetic Reference Field, y los segundos IGRF, por International Geomagnetic Reference Field. El presente trabajo trata de evaluar el comportamiento de cada coeficiente  $g_{ij}$  y  $h_{ij}$  de estos modelos mediante una aproximación lineal de cada uno de ellos, desde el año 1900 hasta el año 2500. El objetivo de este trabajo consiste en estimar en forma simple el peso de las componentes no dipolares más representativas frente a la componente dipolar, en función del tiempo. Estos modelos muestran que en la ventana 1900-2005 y su predicción hasta el 2500, las componentes que transformarán en más complejo el Campo Magnético Terrestre serán las de orden 2, 3, 4, 5, y 6. Las componentes de orden mayor de 7 a 10, son irrelevantes en magnitud. Este simple cálculo, muestra en conclusión que a pesar de minimizarse el efecto dipolar, los procesos del geodínamo se manifiestan en la superficie de la Tierra en los próximos cientos de años de manera más compleja, es decir, multipolar.

**Palabras clave:** Geomagnetismo, IGRF, Energía, Dipolo magnético, Componentes no dipolares.

### ABSTRACT

Since the year 1900 to year 2005 it is have at one's disposal with the coefficients of the spherical harmonics analysis of the Earth's Magnetic Field to the 10th order each 5 years, as a data base wich allows one make a lineal prediction of the International Geomagnetic Reference Field (IGRF) from the year 2010 to farther on. The models of the years from 1945 to 2000 are definitive, while the models of the years from 1900 to 1940, and of the year 2005, are provisory. The formers are denominated with the abbreviation by initials DGRF, wich means Definitive Geomagnetic Reference Field, and the second with the above cited abbreviation by initials IGRF. The present work treats of to rate the behavior of each coefficient  $g_{ij}$ ,  $h_{ij}$ , in these models by means of a linear aproximation of each one of these coefficients, from the year 1900 to the year 2500. The purpose of this work consist in to rate in a simple manner the weight of the more representative non dipolar components opposite to the dipolar component, in function of time. These models shows that in the temporal window 1900-2005 and their prediction to the year 2500, the components wich will transform more complex the Geomagnetic Field will be those with 2nd, 3rd, 4th, 5th and 6th orders. The components with a greater order, 7th to 10th, has an irrelevant magnitude. This simple calculation shows as conclusion that in spite of minimize the dipolar effect, the geodynamo processes will manifest on Earth's surface in the next hundreds years in a more complex way, that is in a multipolar form.

**Keywords:** Geomagnetism, IGRF, Energy, Magnetic dipole, Non-dipolar components.

## INTRODUCCION

Los modelos matemáticos del Campo Magnético Terrestre que proporcionan la Asociación Internacional De Geomagnetismo y Aeronomía (IGRF) cubren el intervalo desde el año 1900 hasta el año 2005. Sus coeficientes y programas son provistos por la IAGA (2005) a través de su página de Internet.

Estos modelos consisten en la representación del efecto en superficie del Campo Magnético producido por el geodínamo, un desarrollo basado en funciones esféricas armónicas, cuyos coeficientes son determinados hasta el orden 10 (Langel 1987, Merrill *et al.* 1996, Langel *et al.* 1995). La información utilizada es proporcionada por la Red de Observatorios Permanentes y relevamientos aéreos, superficiales, marítimos y satelitales, para los modelos más recientes.

La utilidad de estos modelos matemáticos se ve reflejada en su uso en la determinación de anomalías magnéticas corticales. Estudios sobre la información proporcionada por el conjunto de coeficientes que caracterizan estos modelos fue realizada por De Santis (2004) y procesos de inversión por Hulot *et al.*, 2002 y Gubbius D. (1987). Para el caso de inversiones del campo geomagnético mediante la reducción del campo difundido en la superficie terrestre del orden del 90% y según Jacobs (1994), Merrill *et al.*, (1990), Courtillot *et al.* (1992) y De Santis *et al.*, (2004) suponen que todos los coeficientes de Gauss tienden a cero. Uno de los aportes más interesantes es la predicción de De Santis *et al.* (2004) que un proceso de posible inversión o excursión está en marcha y se completará en 1000 ó 1500 años a partir del año 2000.

Asimismo Gianibelli (2006) ha realizado un análisis sobre la evolución estimada de la energía correspondiente a la expresión dipolar y cuadrupolar de los modelos matemáticos del Campo Magnético Terrestre desde 1550 hasta 2500 concluyendo que la disminución del

campo dipolar no es apreciable pero lo es la de la componente no dipolar.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación porcentual entre las energías de los 10 primeros ordenes del desarrollo en esféricas armónicas de los IGRF desde 1900 hasta el 2005 a través de la determinación de la tendencia lineal para cada uno de los coeficientes de los modelos y su expresión en el tiempo hasta el año 2500.

## ANALISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

La información utilizada son los coeficientes  $g_n^j$  y  $h_n^j$  del desarrollo en esféricas armónicas del potencial del Campo Geomagnético correspondiente al efecto del campo originado en el núcleo externo de la Tierra según la ecuación 1:

$$V = a \sum_{n=1}^{10} \sum_{m=0}^n \left( \frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos\theta) \quad (1)$$

Donde  $a$  es el radio medio de la Tierra (6371,2 km) y  $r$ ,  $\phi$ ,  $\theta$  son las coordenadas geocéntricas:  $r$  la distancia desde el centro de la Tierra, la longitud a partir del meridiano de Greenwich medida hacia el este y la colatitud, es decir  $90^\circ$  menos la latitud.  $P$  son las funciones cuasinormalizadas de Schmidt de los polinomios asociados de Legendre de grado  $n$  y orden  $m$  con la condición y (IAGA Division V Workinggroup 8- World Data Center A). La energía de cada orden se encuentra dada por la expresión de la ecuación 2:

$$W_n = \left( \frac{1}{2n+1} \right) \sum_{m=1}^n [(g_n^m)^2 + (h_n^m)^2] \quad (2)$$

$$1 \leq n \leq 10$$

Para cada uno de los coeficientes  $g_n^j$  y  $h_n^j$  del conjunto total de 120 que caracterizan al

modelo se determinaron las funciones lineales de ajuste para los intervalos 1900-2005 y su proyección cada 5 años para el intervalo 2010 a 2500.

Se calculó la energía  $W_n$  para  $1 \leq n \leq 10$  y se determinó su relación porcentual. La Figura 1 muestra la evolución temporal de  $W_n(t)$  para  $n=1$  hasta 10, para  $1900 \leq t \leq$  cada 5 años, de la información de los modelos  $W_n$  50s provista por la IAGA. La Figura 2 muestra el cálculo de la energía para los valores  $g_1^j$  y  $h_1^j$  ajustados linealmente y proyectados en el tiempo hasta el año 2500 cada 5 años. Las componentes no dipolares ( $n \leq 2$ ) crecen notablemente a partir del año 2000, siendo lo más notable que para el 2500 la componente cuadrupolar se aproxima a la dipolar.

La Figura 3 muestra la relación entre las energías  $W_2, W_3$  y  $W_4$ , respecto de  $W_1$ , obser-

vándose que el cuadrupolo tendría más del 45% que la del dipolo, siendo despreciable las energías  $W_3$  y  $W_4$  respecto de  $W_1$ .

Aún así el aporte de  $W_2 + W_3 + W_4$  respecto de  $W_1$  es importante a partir del 2300 en adelante como muestra la Figura 4.

La Figura 5 es un resumen de la tendencia total de las energías de la representación multipolar  $W_1 + \dots + W_{10}$  en relación de la tendencia del campo solo dipolar  $W_1$  y de las componentes no dipolares en su conjunto  $W_1 + \dots + W_{10}$ . De esta figura podemos inferir que, según los datos provistos y su proyección lineal solo por los órdenes 1 a 10, el campo dipolar se mantiene dentro del orden de magnitud  $10^8 - 10^9$  (nT)<sup>2</sup> y que el campo no dipolar si crece más que un orden de magnitud. Si observamos en la actualidad los mapas de isodinas de F, en estos se encontrarán anomalías relacionada con la posiciones de los

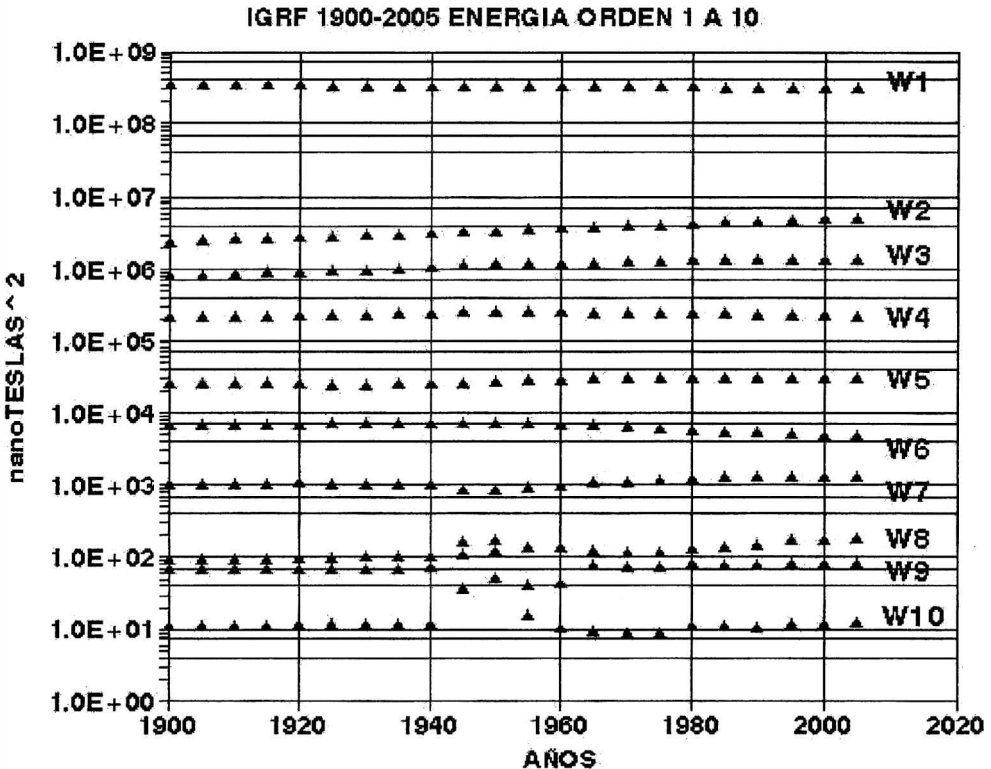


Figura 1. Energía de cada orden 1 a 10 de los modelos IGRF desde el año 1900 hasta el año 2005. Se observa para los órdenes 7, 8, 9 y 10 cambios en la energía en los modelos 1945 a 1955 inclusive, debido a una mayor falta de información para el modelado.

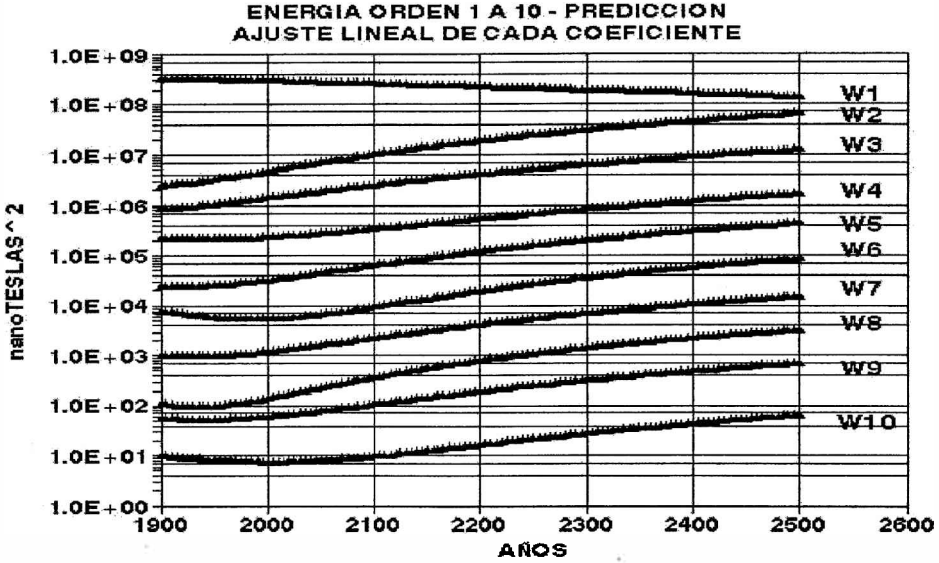


Figura 2. Evolución temporal de la energía 1900-2500 para los órdenes 1 a 10. Se observa claramente un aumento más pronunciado en la energía del cuadrupolo  $W_2$  frente al resto  $W_3$  a  $W_{10}$ , lo que indicaría el aporte más importante al campo dipolar  $W_1$  por una componente no dipolar  $W_2$ .

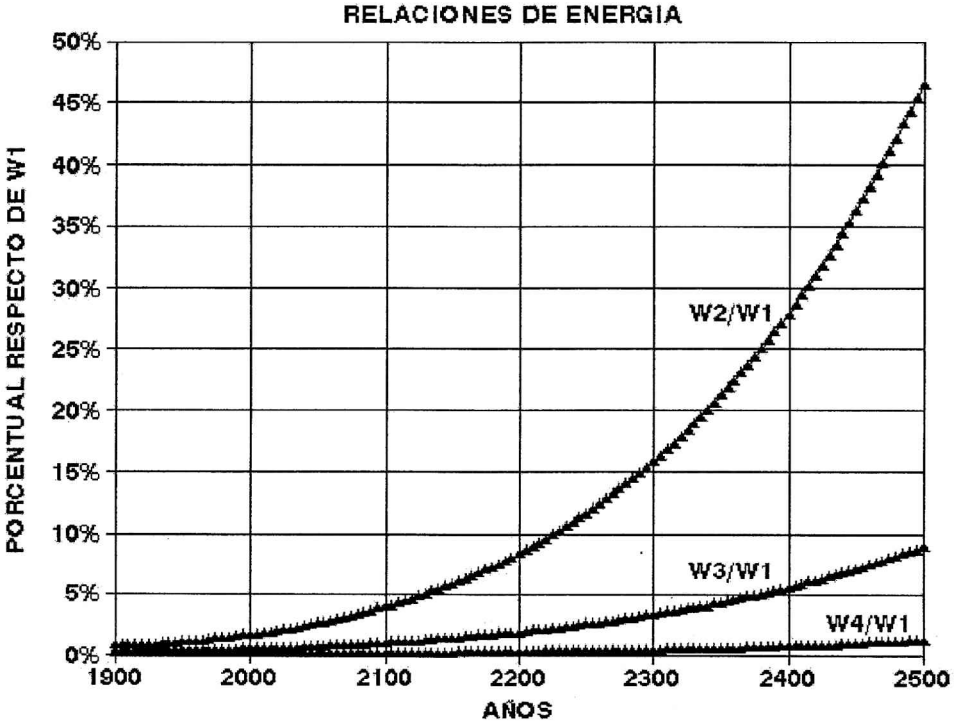


Figura 3. Relación energética en porcentual respecto de  $W_1$  (dipolo) de los aportes no dipolares  $W_2$ ,  $W_3$  y  $W_4$ . Es evidente que, tomando solamente los modelos IGRF desde 1900 a 2005, ya en el año 1990 el efecto cuadrupolar es netamente observable frente al resto de las componentes no dipolares.

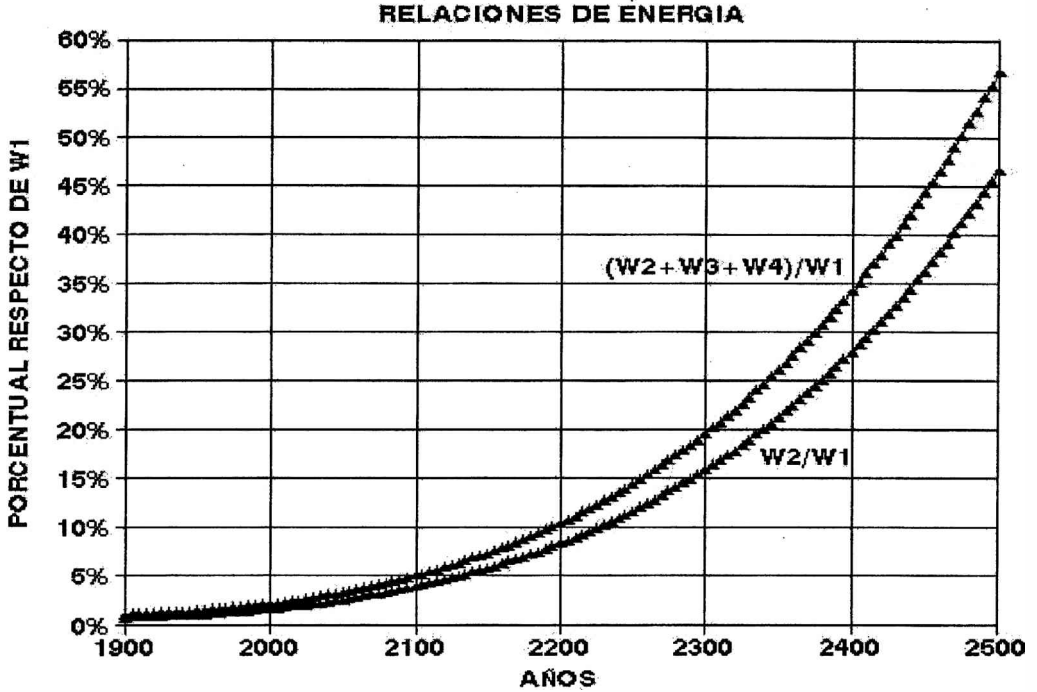


Figura 4. En esta figura se muestra que la relación de energía de las componentes no dipolares de orden 2, 3 y 4 son apreciables recién a partir del año 2100 respecto de la relación  $W_2/W_1$ , evidenciando un aporte importante en el año 2500.

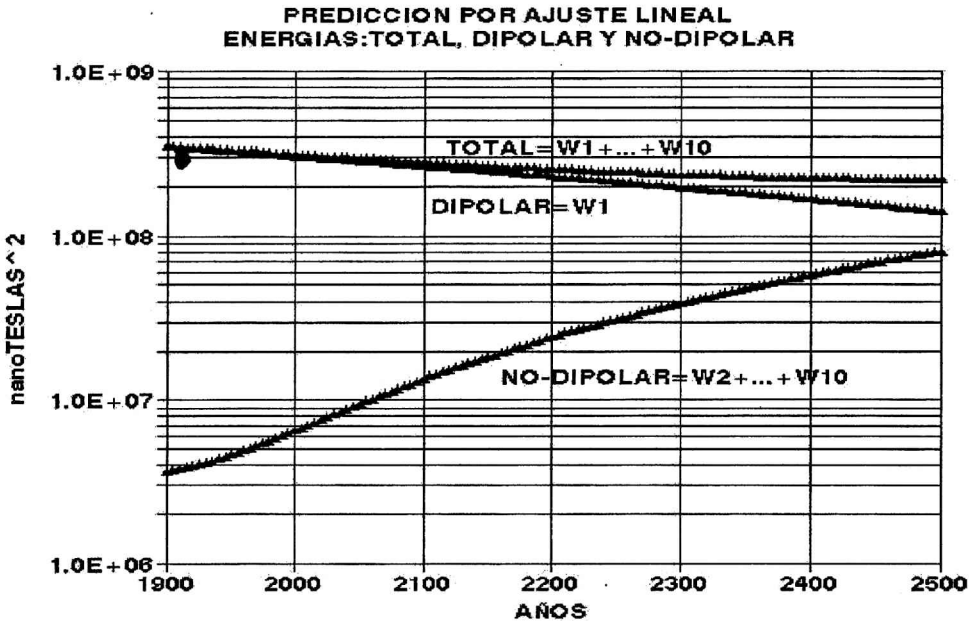


Figura 5. En esta figura se observa el decrecimiento energético total del campo en el intervalo 1900-2500 frente al decrecimiento de la energía dipolar ( $W_1$ ) y el crecimiento energético no-dipolar ( $W_2 + \dots + W_{10}$ ).

polos y mínimos apreciables, como la Anomalía del Atlántico Sur. Esas anomalías serán más intensas para el 2500, sin embargo el campo dipolar solo será enmascarado por los aportes no dipolares. Cabe entonces preguntarnos dónde estará el Norte y el Sur Magnéticos?

## CONCLUSIONES

Se desprende en principio de este análisis, y solo suponiendo que la tendencia lineal de cada coeficiente se mantenga en este intervalo 1900-2500 que en los próximos 500 años el campo geomagnético perderá de su energía total solo un 10 % pero se comportará en forma multipolar. Indicaría un estado de posible inestabilidad previa o una excursión.

Comparativamente con el estudio llevado a cabo por Gianibelli (2006) estos resultados son desamado espectaculares y brindan un llamado de atención respecto de resultados similares con ventanas estrechas en tiempo.

Respecto de los análisis llevados a cabo por De Santis *et al.* (2004) no se observa una apreciable pérdida de energía que tienda a anular los coeficientes para un proceso de inversión; pero si iniciar una excursión.

Los aspectos presentados en superficie por el Campo Geomagnético difundido, muestran una intensificación de campos de expresión no dipolar (orden 2,3 y 4) que hacen concluir en la hipótesis de que una excursión del Campo Geomagnético podría estar en inicio.

## REFERENCIAS

Courtillot V., J. P. Valet, G. Hulot, J. L. Le Mouel. 1992. The Earth's Magnetic Field: wich Geometry?. EOS Vol. 73. pp. 337.  
De Santis A., R. Tozzi, L. R. Gaya-Piqué . 2004. Information Content and K-Entropy of the Present Geomagnetic Field. Earth and Planets Sci. Lett. Vol 218. pp. 269-275.

Gianibelli J. C. 2006. Sobre la evolución Temporal del Dipolo y Cuadrupolo del Campo Geomagnético. Enviado a GEOACTA.  
Gubbins D. 1987. Mechanics for Geomagnetic Polarity Reversals. Nature N° 326. pp. 167-169.  
Hulot G., C. Eymin, B. Langlais, M. Mandea, N. Olsen. 2002. Small Structure of the Geodynamo Inferred from Ørsted and Magsat Satellite Data. Nature N° 416. pp. 620-623.  
Jacobs J. A. 1994. Reversals of the Earth's Magnetic Fields, 2<sup>nd</sup> Ed. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 1-356.  
Merrill R. T. and P. L. Mc Fadden. 1990. Paleomagnetism and the Nature of the Geodynamo. Science 248. pp. 345-350.