



¿CUÁL ES EL ORIGEN DE NUESTRO CAMPO MAGNÉTICO?

Adriano Ibarra – Durán

Servicios de Laboratorio. SERLAB S.A.
email: adrian_ibarra@hotmail.com

RESUMEN

Datos colectados en los siglos XIX y XX indican una disminución en la intensidad del Campo Magnético de la Tierra (CMT). Esto está ligado al origen de dicho campo. Desde 1600 hasta hoy, se han presentado varios modelos para explicar el origen del CMT. Sin embargo, ninguno es capaz de derivar satisfactoriamente sus características. En este trabajo, presentamos dos modelos representativos: El “*Modelo del Dinamo Autoinducido*”, y sus variantes plantean que el flujo de partículas cargadas del núcleo externo de la Tierra da origen y refuerza el CMT. El movimiento de este flujo es complejo y caótico. Por tanto, de cuando en cuando, la polaridad del CMT se invierte (reversiones). Durante una reversión, la intensidad de nuestro campo decrece por largo tiempo luego cambia su dirección y aumenta otra vez. El “*Modelo del Decaimiento*” ha tenido un nuevo impulso recientemente. Según éste, las corrientes en el núcleo externo de la Tierra, que originaron nuestro primer campo magnético, han estado decayendo desde entonces, a una tasa exponencial. Ninguno de los modelos presentados está libre de dificultades, por lo que la controversia continúa y nos lleva a la búsqueda de nuevos modelos.

PALABRAS CLAVES

Campo Magnético, Geomagnetismo, Tierra, Reversiones.

INTRODUCCIÓN

La Tierra posee un campo magnético que permite orientarnos sobre su superficie, al tiempo que nos protege de los rayos cósmicos. Sin embargo, existe un debate sobre el origen de este campo.

Recientemente, se ha iniciado la búsqueda de nuevos modelos, que expliquen satisfactoriamente las características del CMT.

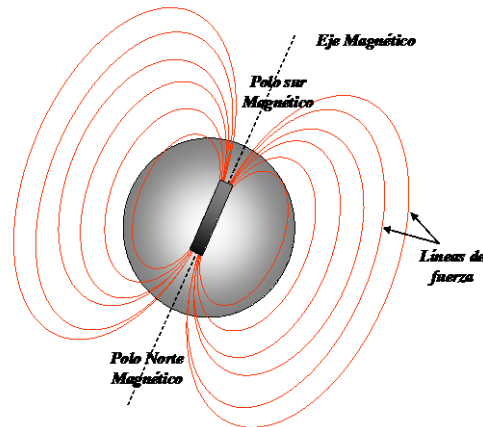


Fig. 1. El modelo de W. Gilbert del campo magnético terrestre.

El primer intento por explicar el CMT se debe a W. Gilbert (1600). Gilbert supuso que en el centro de la Tierra existe un imán gigantesco, que origina el campo detectado por las brújulas (Fig. No.1). Este modelo, aunque ilustrativo de las Líneas de Fuerza del CMT, no es realista.

Mediciones indirectas nos han permitido saber que nuestro planeta consta de un núcleo interno esférico, supuestamente sólido. Por encima de éste se encuentra el núcleo externo líquido, constituido, en su mayoría, de hierro y níquel, donde, se supone, se origina el CMT.

Las temperaturas en el núcleo (unos 4 000 °C), no permiten la existencia de cuerpos magnéticos, ya que superan la temperatura de Curie¹ de los materiales conocidos. Esto descarta el modelo de Gilbert.

El campo magnético generado por la Tierra, o *Campo Dipolar*, aporta el 90% del campo magnético medido en la superficie, y no es constante en magnitud ni en dirección². En el cuadro No.1 presentamos las mediciones realizadas entre 1885 y 1965, que indican una disminución en la intensidad del Momento Magnético de la Tierra³. Éstos resultados son promedios globales, medidos y calculados por la ESSA de Estados Unidos (1967). Otras mediciones, hechas por el satélite Magsat (1980), han confirmado esta tendencia.

¹ Temperatura a la cual, un material pierde sus propiedades magnéticas.

² El 10% restante se debe anomalías magnéticas asociadas con depósitos ferromagnéticos, corrientes telúricas, etc.

³ El Momento Magnético es un vector que indica la dirección e intensidad de las líneas de campo magnético.

Cuadro N°1. Mediciones del Momento Magnético de la Tierra, entre 1835 y 1965⁴.

Año de medición	Momento magnético (10 ²² A m ²)	Año de medición	Momento magnético (10 ²² A m ²)
1835	8,558	1945	8,010
1845	8,488	1945	8,066
1889	8,363	1945	8,090
1880	8,336	1955	8,035
1885	8,347	1955	8,067
1885	8,375	1958,5	8,038
1905	8,291	1959	8,086
1915	8,225	1960	8,053
1922	8,165	1960	8,037
1925	8,149	1960	8,025
1935	8,088	1965	8,013
1942,5	8,009	1965	8,017
1945	8,065		

Las variaciones en magnitud (y dirección) del CMT, llamadas *variaciones seculares*, no tienen una explicación sencilla, sin embargo, todos concuerdan en que están asociadas con el origen de este campo. En este trabajo, centraremos nuestro interés en lo concerniente a la magnitud del CMT.

MODELO DEL DÍNAMO AUTOINDUCIDO

En el siglo XIX, H. Oersted encontró que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos, mientras que M. Faraday descubrió que campos variables inducen corrientes eléctricas, en espiras conductoras (Inducción de Faraday). Con estos resultados, J. Larmor (1919) postula la existencia de un Dínamo Autoinducido en el núcleo exterior de la Tierra, que origina el CMT.

Para entender mejor este modelo, vea la figura No.2. En esta figura, la corriente (i), que circula en el circuito, genera un campo magnético (B). El campo magnético inducido decrece con el tiempo, al igual que la corriente, debido a la resistencia del conductor.

⁴ “Origen y Destino del Campo Magnético de la Tierra” de T. Barnes. Pag 55. *Tecnociencia, Vol. 5, N°1*

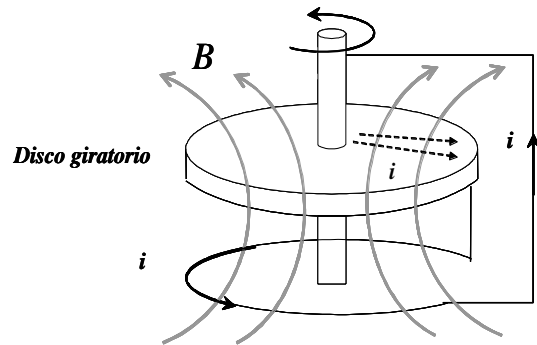


Fig. 2. Modelo simplificado del dinamo autoinducido.

Sin embargo, el campo magnético variable que atraviesa el disco giratorio, induce una corriente en éste, y la corriente inducida reforzará el campo inicial. Este proceso se repite en un ciclo interminable.

En el caso de la Tierra, el modelo es más complejo, pero el principio básico es el mismo: la rotación de la Tierra crea un flujo de partículas cargadas en el núcleo exterior del planeta; estas cargas en movimiento constituyen corrientes eléctricas, que originan un campo magnético. El campo magnético producido interactúa con el núcleo en movimiento e induce corrientes que refuerzan el campo inicial.

Por razones importantes, W. Elsasser (1939), E. Bullard & H. Gellmann (1954) modifican el modelo de Larmor, introduciendo movimientos más complejos que la rotación. El modelo de Elsasser-Bullard-Gellmann admite movimientos semejantes a “turbulencias ciclónicas” y “tornados convectivos” en el núcleo exterior de la Tierra.

Los complejos movimientos que requiere el Dínamo deben incluir periodos en que el flujo se detenga (G. Backus & A. Herzenber, 1958) y que, de cuando en cuando, ocasionen la inversión en la polaridad del CMT (reversiones).

La hipótesis de las reversiones fue presentada a inicios de los años sesenta, por L. Morley, D. Matthews & F. Vine. De esta forma, explicaban la magnetización de ciertas rocas y lavas enfriadas del fondo marino, las cuales presentaban una polaridad contraria al actual campo magnético. Al principio, esta hipótesis fue rechazada pero, posteriormente, quizás influenciada por los datos de la ESSA, fue admitida.

El magnetismo de las rocas del fondo marino y lavas enfriadas indica que las reversiones se han dado de forma espontánea, al azar, y con varias duraciones (miles o millones de años). Ya que las reversiones

toman muchos años en completarse, esto explicaría por qué el momento magnético está decreciendo. Esperamos que nuestro campo decrezca durante muchos años, luego, cambiará de dirección y aumentará, otra vez.

En enero del 2000, investigadores del Centro de Investigaciones de Kalsruhe (Alemania), probaron que un líquido conductor (sodio), en rotación y con los movimientos hipotéticos del núcleo, puede crear su propio campo magnético.

Críticas al Modelo

T. Cowling (1934) mostró que un campo magnético axialmente simétrico (como el caso de la Tierra), no puede ser generado por movimientos axialmente simétricos de un fluido conductor. Es decir, la rotación del núcleo terrestre no puede generar un campo como el nuestro. De allí que el modelo de Larmor fuera reemplazado por el de Elsasser, Bullard & Gellmann. Sin embargo, la fuente adicional de energía que permita movimientos tan complejos, no se ha determinado. De igual manera, el origen real de las reversiones no puede explicarse satisfactoriamente.

Por otro lado, no todas las magnetizaciones inversas se deben a reversiones. Existen procesos físicos, químicos o mecánicos (estratos sometidos a esfuerzos) que podrían modificar las características magnéticas de las rocas. Se pueden mencionar eventos geológicos que alteran la temperatura y el medio químico de las muestras; además que la magnetización de una roca puede ser modificada por la caída de rayos. En todo caso, los métodos actuales no pueden discernir entre las verdaderas reversiones y las producidas por los eventos señalados. En este sentido, se están desarrollando nuevos y mejores métodos, tal como la propuesta de J. Tarduno (2001). Más aún, aquellas reversiones confirmadas son cuestionadas, por evidencia experimental que indica que las reversiones fueron de corta duración; quizás semanas o meses. R. Coe & M. Prevot (1989 y 1995) reportan cambios en la dirección del campo a razón de 3° por día, es decir, una completa reversión en sólo dos meses.

Una falla importante del modelo la componen las predicciones que se hacen sobre los campos magnéticos de otros planetas. En Mercurio, por

ejemplo, no se esperaba encontrar un campo magnético, ya que posee un núcleo sólido. En 1974, el Mariner 10 comprobó la existencia de un campo magnético similar al nuestro. Su origen es desconocido.

Urano y Neptuno poseen núcleos rocosos, por tanto, no deberían poseer campos magnéticos. En 1986 y 1989, el Voyager 2 mostró la existencia de campos magnéticos en ambos planetas. Para Urano, se pensó en un dínamo formado por corrientes de partículas en un océano de agua helada, entre el núcleo y su atmósfera. Los reportes de la NASA descartan esta posibilidad. Para Neptuno, se desconoce el origen del campo detectado.

MODELO DEL DECAIMIENTO

Las bases teóricas del Modelo de Decaimiento se deben a H. Lamb (1883), quien desarrolló modelos para describir el comportamiento de corrientes eléctricas en conductores esféricos. Según Lamb, las corrientes que circulan en una esfera conductora, decaerían exponencialmente debido al efecto combinado de la resistencia interna y la inducción de Faraday. En la figura N° 3 se presenta un esquema simplificado.

En la figura N° 3a vemos como la corrientes que circulan en una bobina, conectada a una batería, generan un campo magnético en torno a la bobina. Si se extrae la batería del circuito (Fig. N° 3b), la corriente inicial comienza a decrecer por efecto de la resistencia de los cables; lo mismo ocurre con el campo magnético.

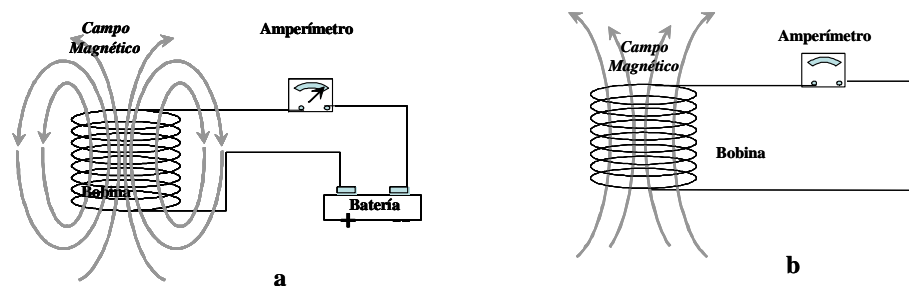


Fig. 3. Modelo simplificado del decaimiento de corrientes

El campo magnético variable que atraviesa la bobina inducirá corrientes que refuerzan el campo inicial, dilatando el tiempo que

tardan dichas corrientes en desaparecer. Un gráfico que represente la corriente (o campo) en función del tiempo será similar a la figura No.4.

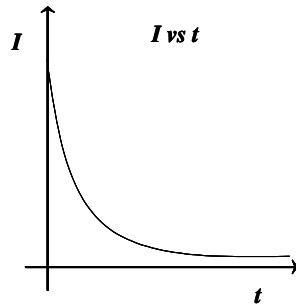


Fig. 4. Gráfico corriente (I) vs tiempo (t) en un sistema resistivo-inductivo.

En 1895, J. Hopkinson postuló que el CMT era el remanente del campo generado al inicio de la vida de la Tierra. Quizás utilizando un modelo como el de Lamb, Hopkinson calculó que el tiempo de decaimiento de las corrientes en el núcleo, era del orden de millones de años.

En la década de 1980, T.G. Barnes dio un nuevo impulso al modelo del decaimiento. Para Barnes, la fuente inicial del campo magnético fueron las corrientes eléctricas que circulaban en el núcleo del planeta durante su formación. Desde entonces, estas corrientes han estado decayendo exponencialmente (“*Decaimiento libre*”).

Al trazar los valores del cuadro N° 1 en un papel semilogarítmico, se obtiene una recta que permite calcular el tiempo de vida media⁵ del Momento Magnético terrestre.

Como se desprende del modelo de decaimiento libre, no hay lugar para las reversiones. El modelo explica la magnetización de las rocas, como efectos de caída de rayos, esfuerzos causados por movimientos sísmicos y otros procesos físico-químicos.

Hacia finales de los ochenta, R. Humphreys considera que existen evidencias suficientes sobre las reversiones, por lo que el modelo de Barnes debe ser modificado.

⁵ Tiempo que tarda una magnitud, que decae exponencialmente, en caer a la mitad de su valor inicial.

En lugar de un decaimiento exponencial como el de la figura N° 4, Humphreys supone una historia diferente para el CMT. En la figura No. 5, se muestra la evolución del campo magnético según el “*Decaimiento Dinámico*”. Este diagrama no está a escala ni incluye todas las reversiones, pero ilustra el comportamiento general del campo.

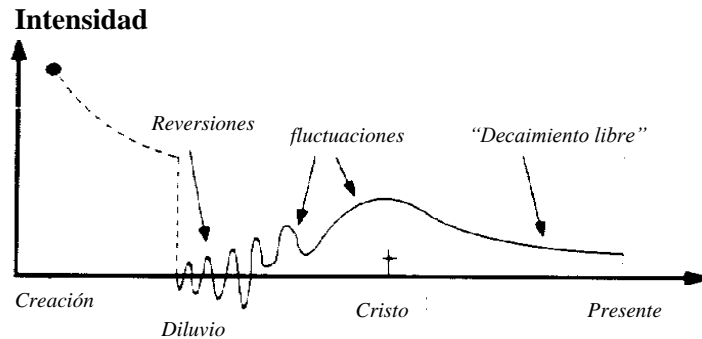


Fig. 5. Evolución del campo magnético según el modelo de Russel Humphreys.

Cuando se constituye el planeta, las corrientes internas del núcleo generan el primitivo CMT. Luego, debido a los efectos inductivo y resistivo del núcleo, éstas corrientes (y el campo magnético) decaen exponencialmente.

Las reversiones mostradas en la figura N° 5, se atribuyen a cataclismos globales que afectan el núcleo terrestre. Según Humphreys, se trata de las causas que originaron el “diluvio universal”. Durante este periodo, se producen reversiones caóticas y al azar en el campo dipolar, con duraciones de unas pocas semanas. Después, habrían fluctuaciones debido al movimiento residual. Pero las reversiones y fluctuaciones no cambian el patrón de decaimiento. Así, desde los tiempos de Cristo, el CMT continuaría decayendo.

En 1984, Humphreys publica un artículo en que hace predicciones sobre los campos magnéticos de Neptuno y Urano. Utilizando relaciones propias del modelo y parámetros de éstos planetas, Humphreys predijo un Momento magnético del orden de 10^{25} A m^2 para Neptuno y Urano. En 1986 y 1989, el Voyager-2 encontró

momentos de $3,85 \times 10^{24} \text{ A m}^2$ y $2,16 \times 10^{24} \text{ A m}^2$, para Urano y Neptuno, respectivamente.

Criticas al modelo

En primer lugar, las explicaciones de las reversiones asociadas al “diluvio universal” no convencen a todos los científicos, y menos la posición de Barnes de rechazar estos fenómenos. Además, frente a la tasa de decaimiento exponencial postulada para el campo magnético, otros prefieren asignar una variación lineal.

Elsasser (1947) calculó que el tiempo de decaimiento era mucho más pequeño que la presumible edad de la Tierra. Considerando que el CMT “nació” con el planeta, el modelo de decaimiento de Barnes & Humphreys nos señala una edad no mayor de 20 000 años. En este sentido, se argumenta que muchas de las dataciones se basan en métodos radioactivos (C-14 y otros), pero éstas deben revisarse. Las dataciones con C-14 suponen que la tasa de interacciones entre la atmósfera y los rayos cósmicos ha sido constante, pero debido al decaimiento del campo magnético estas interacciones han aumentando.

CONCLUSIONES

El origen del CMT es y seguirá siendo un misterio, mientras las evidencias experimentales no permitan definir un modelo teórico único para explicarlo.

En este punto, no debemos subestimar o sobreestimar un modelo frente a otro. Tal vez el modelo que nos parece absurdo, será la respuesta al enigma, y aquel considerado “más plausible”, puede estar totalmente equivocado. Esto ha ocurrido antes.

El trabajo continúa y nos está llevando a explorar nuevas posibilidades, lo que es beneficioso para la Ciencia.

ABSTRACT

Data collected during XIX and XX centuries indicate a decrease in the strength of Earth's Magnetic Field (EMF). This phenomenon are bound to the origin of the Magnetic Field. From 1600 until today, several models have been presented trying to determine the origin of EMF. At this time, none is able to explain their

characteristics. Here we present two of these models: The Self-Sustaining Dynamo Model, explains that the flow of charged particles in Earth's outer core originates and reinforces the EMF. The movement of this flow is quite complex and chaotic. That's why, from time to time, the polarity of EMF shifts (reversals). During a Reversal, the strength of the Field will decrease for long time then, it will shift its polarity, and it will increase again. The Decay Model has had a recently new impulse. According to this model, the electric currents in Earth's outer core originated our first magnetic field, which one have been decaying from then on, to an exponential rate. None of the presented models is free of difficulties, and the controversy among different models continuous, and it takes us to explore new possibilities.

REFERENCIAS

Anónimo. 1980. Magsat Down: Magnetic Field Declining. Science News. 117 : 407.

Barnes, T. G. 1981. Depletion of the Earth's Magnetic Field. Impact # 100. ICR.

Barnes, T.G. 1981. Origen y Destino del Campo Magnético de la Tierra. CLIE. España.

Barnes, T.G. 1983. Earth's Magnetic Age: The Achilles Heel of Evolution. Impact # 122. ICR.

Brown, R.H. 1989. Reversal of Earth's magnetic Field. Origins 16 (2): 81-94.

Humphreys, R. 1984. The Creation of Planetary Magnetic Field. CRSQ Vol. 21, N° 3.

Humphreys, R. 1983. The Mystery of Earth's Magnetic Field. Impact # 188, ICR.

Humphreys, R. 1993. Earth's Magnetic Field is Young. Impact # 242, ICR.

Hurtado de Mendoza, D. 1996. El Enigma del Campo Magnético Terrestre. Ciencia Hoy. Vol. 6. No 33.

KHAN, M.A. 1980. Geología Global. Paraninfo S.A. Madrid, España.

Logachev A. & V. Zajarov. 1978. Exploración Magnética. Reverte. España.

Longwell, CH. & R. Flint. 1991. Geología Física. Limusa. México.

NASA.1995. Fact Sheet: Uranus Science Summary. (http://vraptor.jpl.nasa.gov/voyager/vgrur_fs.html).

NASA.1995. Fact Sheet: Voyager Neptune Science Summary. (http://vraptor.jpl.nasa.gov/voyager/vgrnep_fs.html).

Parkinson, W. D. American Geophysical Union. Geomagnetism: Theories of Since 1900. (<http://www.agu.org/history/mf/articles/Geomag20.html>).

Russell, C.T. 1991. Planetary Magnetospheres. Science Progress, 75, 93-105.

Simons, E. 1990. Geología Física Básica. Limusa. México.

Stern, D. 2000. Magnetic Reversals and Moving Continents. <http://istp.gsfc.nasa.gov/earthmag/reversal.htm>.

Telford, V., L. Geldart & R. Sheriff. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University. USA.

Udías, A. & Mézcua, J. 1986. Fundamentos de Geofísica. Edit Alambra. España.

Udias, A. 1981. Física de la Tierra. Proyecto MT62, Alambra. España.

Recibido septiembre del 2002, aceptado octubre del 2002.