

CAUSAS DEL CAMBIO EN INVERSIONES DEL CAMPO MAGNETICO DE LA TIERRA: ? DENTRO O FUERA DEL NUCLEO?

J. A. Jacobs
INSTITUTE OF EARTH STUDIES
UNIVERSITY COLLEGE OF WALES, U. K.

Recientemente ha habido un renovado interés por estudiar la posibilidad de una relación entre los acontecimientos en la superficie terrestre y los del núcleo. Hasta ahora siempre se ha considerado poco probable que la frontera del manto, que es sólida y rocosa, y el núcleo externo, que esta constituido basicamente por hierro fluído, pudieran influenciarse uno al otro. Hoy en día, algunos colegas empiezan a considerarlo probable.

Laj et al. (1991) y Clement (1991) examinaron los registros de las inversiones del campo magnético de la Tierra en los últimos diez millones de años y encontraron que los polos tienden a seguir una de dos trayectorias: una a través de norte y sudamérica, y la otra a unos 180 grados de distancia, a través de Asia oriental y Australia. Esto es muy sorprendente, ya que los movimientos en el núcleo fluído de la Tierra son del orden de decenas de kilómetros al año, mientras que los movimientos en el manto sólido remotamente exceden de unos cuantos centímetros al año. Una posible conexión yace en las condiciones de la FNM (frontera Nucleo - Manto). Estudios sísmicos han demostrado que los últimos 200 kilómetros del fondo del manto (llamada capa D") es anomala. Hay opiniones contrarias respecto a si se trata de una frontera química y/o térmica (ver p. ej. Lay, 1989). Se conoce que existe una topografía asociada a la FNM, por lo que no es ilógico suponer que dicha frontera pudiera distorsionar el flujo de corriente en el núcleo.

Knittle y Jeanloz (1991) realizaron experimentos de laboratorio que indican que el hierro líquido reacciona químicamente con los silicatos a presiones y temperaturas elevadas. Ellos sugieren que tales reacciones químicas deben tener lugar en la FNM, introduciendo fuertes heterogeneidades en la capa D", no solo en las propiedades de la densidad y la elasticidad, sino también en la conductividad eléctrica la cual ellos estiman que pudiera variar hasta en ocho ordenes de magnitud. Esto, a su vez, podría afectar el campo magnético terrestre tal como lo observamos en la superficie.

Las bandas preferenciales de longitud de las trayectorias polares encontradas por Laj. et al. (1991) marcan tambien la frontera de las características

dominantes no-dipolares del campo magnético de la Tierra en latitudes bajas, entre 90 grados E y 90 grados W (Bloxham y Woodhouse, 1991) y regiones de velocidades sísmicas mas altas (y por ende bajas temperaturas) en el manto inferior (Dziewonski y Woodhouse, 1987). Sin embargo, no debe olvidarse que este patrón de trayectorias de inversión ha sido observado solamente en registros de los últimos 10 millones de años, y no sabemos si existian en el pasado trayectorias preferenciales similares.

Existe mucha controversia en cuanto a si el campo transicional permanece dipolar durante una inversión. Hay casos que indican que el campo transicional fue fuertemente no-dipolar. Por otro lado, el amontonamiento de trayectorias del polo geomagnético virtual (PGV) de transición a través de norte y sudamérica encontrado por Laj et al. (1991) es una prueba de que en algunos casos un importante contenido dipolar esta presente en el campo transicional.

Larson (1991), estima que la formación de la corteza oceánica aumento en 50 a 75 % en los 40 millones de años comprendidos entre hace 120 Y 80 millones de años. Encontró este aumento tanto en el promedio de expansión de las cordilleras centro-oceánicas como en la distribución por edades de las mesetas oceánicas (ocean plateaus). Larson noto que este aumento, que estaba concentrado en el Océano Pacífico, coincide con el largo período de campo magnético normal del cretácico (supercron normal cretácico o SNC), durante el cual el campo magnético de la tierra no muestra inversiones. Interpreto esto como el resultado de una gran columna de material en estado de fusión (superplume) que se originó hace unos 125 millones de años cerca de la FNM, ascendió por convección a través del manto y emergió formando parte de la cordillera centrooceánica debajo de la cuenca del Pacífico.

Gaffin (1987) había reportado antes una correlación negativa entre el cambio eustático a largo plazo del nivel del mar y la tasa de inversión geomagnética en los últimos 150 millones de años y sugirió que la tasa de creación del piso oceánico y/o la velocidad de de subducción estan estrechamente asociados con la frecuencia de inversiones (Larson

subducción no tuvo variaciones significativas durante los últimos 150 millones de años). Por cambio eustático se entiende la fluctuación del nivel del mar que ocurre simultáneamente en toda la tierra, p. ej., durante un periodo glacial baja el nivel del mar o durante periodos de intensa sedimentación marina sube el nivel; a este respecto debe notarse que Larson calculó la tasa de producción de corteza oceánica como una función del tiempo, utilizando las tablas de Kominz (1984) de longitud de las crestas de las cordilleras centro-oceánicas contra los promedios de expansión, los cuales uso para calcular las variaciones en el nivel del mar.

Bercovici et al. (1989) realizaron calculos tridimensionales en simetría esférica de la convección en el manto terrestre y demostraron que las corrientes ascendentes, que pudieran asociarse con las cordilleras centro-oceánicas, no se presentaron en ninguno de sus modelos al aplicarles calor por debajo. Por lo tanto, las cordilleras centro-oceánicas no son consecuencia de emanaciones provenientes de la profundidad del manto, sino más bien, las cordilleras son fenómenos pasivos resultantes del desgarramiento de las placas de la superficie debido al estiramiento o jaloneo que son sometidas las placas descendentes en las zonas de subducción, tal como lo había sugerido hace tiempo Lachenburch (1976). La tomografía sísmica también ha demostrado que las velocidades bajas y, por ende las regiones probablemente calientes debajo de las cordilleras centro-oceánicas, no se extienden más allá de 350 kilómetros de profundidad (Woodhouse y Dziewonski, 1984).

En 1981, encontré una correlación entre el flujo de calor del piso oceánico y la frecuencia de inversiones del campo magnético de la tierra; el comienzo de la SNC coincide con el comienzo del aumento de flujo de calor (Jacobs, 1981). El máximo en el flujo de calor se presentó al final del SNC y regreso a su valor anterior aproximadamente 40 millones de años después. Así, el principio y el final del SNC fueron marcados por cambios en el flujo de calor del piso oceánico aunque existe un intervalo de tiempo de 40 millones de años entre la reanudación de la actividad de inversión y el retorno del flujo de calor a su valor anterior.

Courtillot y Besse (1987) usaron la velocidad de la desviación polar real (DPR; migración del hot spot que sirve como marco de referencia en el manto con relación al eje de rotación de la tierra), como medida de la fuerza de convección del manto. Encontraron un periodo muy bajo de DPR en el lapso comprendido entre 170 y 100 millones de años en el pasado, que coincide con un importante aumento de desintegración continental. Esto ocurrió bastante antes del comienzo del SNC, aunque

durante un tiempo de continua disminución en la frecuencia de inversiones. Poco después del comienzo del SNC, el DPR recuperó su alto valor actual de una manera abrupta. Existe, por lo tanto, un intervalo de retardo bastante largo entre la medida de Courtillot y Besse de la convección del manto y el SNC. Su periodo de muy lento DPR coincide con mi periodo de incremento en el flujo de calor con un intervalo de defasamiento de 60 millones de años.

Si dos eventos tienen lugar más o menos al mismo tiempo, es más fácil pensar en una correlación antes que aceptar esto como una coincidencia. Glass y Heesen (1967) señalaron que la amplia zona de tectitas que cubre Australia, Indonesia y gran parte del océano Indico, se deben a un cuerpo meteorítico que cayó hace aproximadamente 700 000 años, más o menos al mismo tiempo que la última inversión magnética (la Brunhes - Matuyama). Sugirieron que la caída del cuerpo meteorítico, del cual se formaron las tectitas, mató a las radiolarias (ahora extintas), y dio una sacudida a la tierra alterando los movimientos del núcleo y provocando la inversión del dinamo. De Menocal et al. (1990) examinaron las posiciones estratigráficas relativas del estado interglacial 19.1 (correspondiente al periodo de tiempo mencionado y que ha sido determinado por estudios de isótopos de oxígeno), la inversión Brunhes - Matuyama, y la expansión de la capa de tectitas en sedimentos del fondo del océano. Encontraron que la inversión Brunhes - Matuyama ocurrió entre 4 000 y 8 000 años después de los datos que se tienen para el estado 19.1, la cual, a su vez, ocurrió entre 6 000 y 9 000 años después del esparcimiento del campo de tectitas. Concluyeron que no existe conexión entre las inversiones del campo geomagnético, los cambios del clima y los eventos de impacto.

Se han hecho otras propuestas sobre una asociación entre las tectitas y la inversión del campo, pero no han sido comprobadas. Así, Durrant y Khan (1971) y Glass y Zwart (1979) sugirieron que podría existir una relación entre las microtectitas de Costa de Marfil y el comienzo del subcron de polaridad normal (SPN) Jaramillo de hace aproximadamente 0.97 millones de años. Esto apresuró a Schneider y Kent (1990) a reexaminar la estratigrafía paleomagnética de dos núcleos decisivos de las profundidades del océano que contienen microtectitas de Costa de Marfil. Concluyeron que el evento que las produjo (el cráter de impacto Bosumtwi en Ghana Oriental; ver Shaw y Wassenburg, 1982), muy probablemente ocurrió durante el corto periodo de polaridad normal Jaramillo (subcron Jaramillo), pero 30 000 años después de su comienzo y 40 000 años antes de su terminación, sin dar ningún apoyo a alguna relación casual entre los dos eventos.

Es más, no aparece ningún registro de tectitas o microtectitas asociado con períodos de otras inversiones de campo (ha habido más de 70 en los últimos 20 millones de años). También ha sido difícil explicar cómo un impacto en la superficie de la tierra pudiera alterar físicamente los movimientos en el núcleo y consecuentemente afectar el campo magnético de la tierra. En este aspecto, la frontera cretáceo - terciaria (K-T) la cual Alvarez et al., (1980) han sugerido que puede marcar un fuerte evento de impacto, no coincide con una inversión de polaridad, digresión o algún otro cambio en la tasa de inversiones.

Merril y McFadden (1988, 1990) han revisado toda la cuestión de un origen externo para inversiones magnéticas y concluyeron que aunque la posibilidad de tal origen no puede ser descartada definitivamente, la evidencia actual es muy deficiente.

Loper y McCartney (1986) asumieron que la frecuencia de inversiones está relacionada con el porcentaje de abastecimiento de energía al geodynamo, el cual, en su modelo, está directamente relacionado con el promedio de enfriamiento del núcleo terrestre y este, a su vez, está controlado por la capa D". Cuando la capa D" es gruesa, el gradiente de temperatura a través de ella es pequeño, y el abastecimiento de energía para el dinamo es bajo, de modo que este se encuentra en un estado de calma, con pocas inversiones. Por otro lado, cuando la capa D" es delgada, el gradiente de temperatura a través de ella es alto, y el abastecimiento de energía al dinamo es mayor, de modo que se encuentra en un estado de mayor alteración, con inversiones frecuentes. Resulta interesante que Sheridan (1983), quien desarrolló un modelo basado en ideas similares haya llegado a una correlación justamente opuesta a la de Loper y McCartney. En el modelo, la frecuencia es baja durante períodos de generación de columnas de material fundido desde el manto (plumes) y alta en la ausencia de estas columnas.

¿Hacia dónde nos lleva todo esto?, No parece lógico que toda inversión esté asociada con un evento en la FNM. Por otro lado, es muy posible que un cambio de mayor importancia en el patrón de frecuencia de inversiones, como el SNC, esté conectado con las condiciones cambiantes del manto. Uno desearía tener más evidencia de observación para cualquier otro cambio en la frecuencia de inversión. Las anomalías magnéticas marítimas proveen la única gran fuente de información acerca de las inversiones magnéticas, pero solamente los últimos 160 millones de años, el rango de edad del piso oceánico, mantiene un buen registro de inversiones. Sin embargo, las mediciones en tierra han demostrado que por un período de 60 millones de años (de 295 a 235

millones de años), el campo magnético de la tierra parece haberse invertido casi todo el tiempo. Panella (1972) calculó la longitud del mes sinódico de hace 500 millones de años usando los patrones de crecimiento periódico de los moluscos y estromatolitos, controlados por las mareas. Encontró que el grado de desaceleración de la rotación de la tierra no ha sido constante. Existieron dos interrupciones, la primera comenzó en el período pensilvánico y terminó en el permico, después del cual se mantuvo básicamente constante hasta hace aproximadamente 75 millones de años, en el cretácico superior, cuando regresó a su anterior valor de 2 milisegundos por siglo. La primera interrupción coincide casi exactamente con el largo período de 60 millones de años, en el que el campo se invirtió casi todo el tiempo. La segunda interrupción ocurrió justo después del final de SNC.

REFERENCIAS

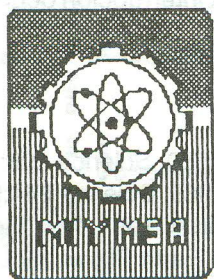
- Alvarez L.W. et al. 1980. *Science* 208:1095.
- Bercovici D. et al. 1989. *Science* 244:950.
- Bloxham J., Jackson A. 1991. *Rev. Geophys.* 29:97.
- Clement B. M. 1991. *Earth Planet. Sci. Lett.* 104:48.
- Courtillot V., Besse J. 1987. *Science* 237:1140.
- Durrani S., Khan H. 1971. *Nature* 232:320.
- Dziewonski A., Woodhouse J. 1987. *Science* 236:37.
- Gaffin S. 1987. *Nature* 329:816.
- Glass B., Heezen B. 1967. *Sci. Am.* 217:32.
- Glass B., Zwart P. 1979. *Earth Planet. Sci. Lett.* 43:336.
- Jacobs J. 1981. *J. Geomagn. Geoelectr.* 33:527.
- Knittle E., Jeanloz R. 1991. *Science* 251:1438.
- Kominz M.A. 1984. *Am. Ass. Petrol. Geol., Tulsa, Okla.*
- Lachenbruch A.H. 1976. *J. Geophys. Res.* 81:1883.
- Laj. C. et al. 1991. *Nature* 351:447.
- Larson R.L. 1991. *Geology* 19:547.
- Lay T. 1989. *EOS, Trans. AGU.* 70:49.
- Loper D., McCartney K. 1986. *Geophys. Res. Lett.* 13:1525.
- De Menocal P. et al. 1990. *Earth Planet. Sci. Lett.* 99:1.
- Merril T., McFadden P. 1988. *J. Geophys. Res.* 93:589.
- Merril T., McFadden P. 1990. *Science* 248:345.
- Panella G. 1972. *Astrophys. Space Sci.* 16:212.
- Schneider D., Kent D. 1990. *Geophys. Res. Lett.* 17:163.
- Shaw H., Wasserburg G. 1982. *Earth Planet. Sci. Lett.* 60:155.
- Sheridan E. 1983. *Tectonophysics.* 94:169.
- Woodhouse J., Dziewonski A. 1984. *J. Geophys. Res.* 89:5933.

Escrito original aparecido en EOS, publicación de la American Geophysical Union, de junio de 1992.

SISTEMAS DE INGENIERIA SISMICA Y DINAMICA ESTRUCTURAL



**REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA LA REPUBLICA
MEXICANA:**



**MEDIDORES INDUSTRIALES Y
MEDICOS S.A. DE C.V.**

ODESA #1110
COL. PORTALES
03300, MEXICO, D.F.

**FAX: (5) 605-9181 PHONE: (5) 604-0058
605-6312**

***Física
del Mar***

Un programa de posgrado

CICESE



Departamento de Oceanografía Física
Apartado postal #2732. Ensenada, B.Cfa., México
Teléfono 52 (667) 4 5050 ext. 4010. Fax 52 (667) 4 5154

Fotografía: Van Dyke