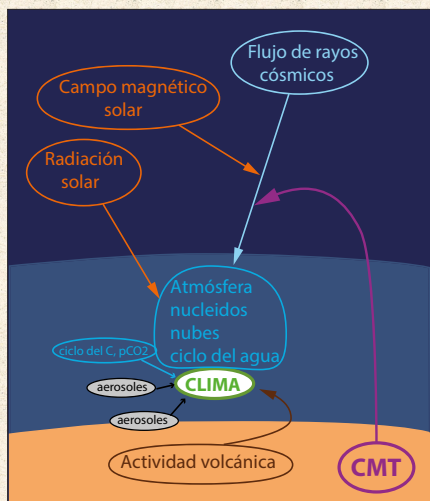


# LA GEOLOGÍA ES NOTICIA



EFFECTO DE LAS VARIACIONES DEL CMT EN ANTIGUAS CIVILIZACIONES (4000 - 0 AÑOS AC)

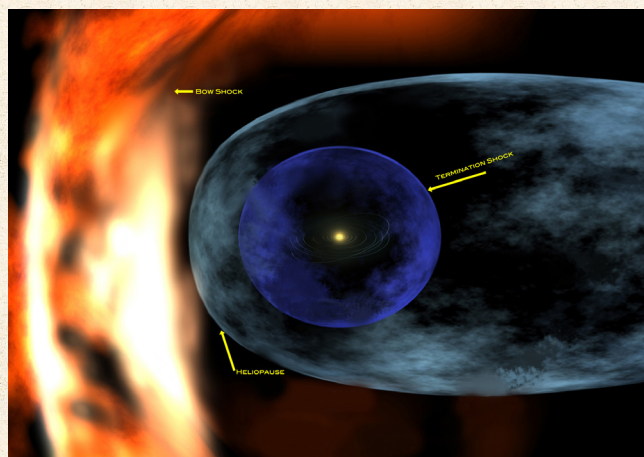
## Las variaciones del campo magnético terrestre: ¿influyen en los cambios climáticos del pasado?

Belén Oliva Urcia (p. 368)

## DE LA GRAN URBE A LA MODESTA VILLA: Aplicación de la prospección magnética a la arqueología romana

Antonio M. Casas, Oscar Pueyo-Anchuela, Pilar Diarte-Blasco, Valeria Beolchini, Leonor Peña-Chocarro, Carlos García-Benito y Andrés Pocoví.

(p.372)



## El campo magnético solar, tan importante como el campo magnético terrestre

Ruth Soto (p. 375)

# EFECTO DE LAS VARIACIONES DEL CMT EN ANTIGUAS CIVILIZACIONES (4000 - 0 AÑOS AC)

## Las variaciones del campo magnético terrestre: ¿influyen en los cambios climáticos del pasado?

BELÉN OLIVA URCIA

Departamento de Geología y Geoquímica,  
Facultad de Ciencias, Universidad  
Autónoma de Madrid, 28049 Madrid,  
España. [belen.oliva@uam.es](mailto:belen.oliva@uam.es)

El origen del Campo Magnético Terrestre (CMT) se encuentra en el núcleo externo de la Tierra. Observaciones del CMT actuales permiten definir al CMT como un dipolo inclinado  $11^\circ$  respecto al eje de rotación de la Tierra (Fig. 1a), haciendo que la Tierra se comporte como un imán gigantesco.

El CMT es una magnitud vectorial ( $F$ ), por lo que sus variaciones se pueden medir en los cambios de sus tres componentes cartesianas ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) o en las variaciones de ese vector en su componente horizontal (proyección de  $F$  sobre la horizontal dando lugar a  $H$ , cuya orientación respecto al norte geográfico,  $N_g$ , es la declinación magnética,  $D$ ) y en los cambios de la inclinación de  $F$  (el ángulo que forma el vector  $F$  con la horizontal, entre  $F$  y  $H$ , que es la inclinación magnética,  $I$ ). La magnitud del vector,  $F$ , es la intensidad total del CMT (Figs. 1a y 1b). Las variaciones del CMT se recogen en mapas donde se representan isolíneas de  $D$ ,  $I$  y  $F$  a partir

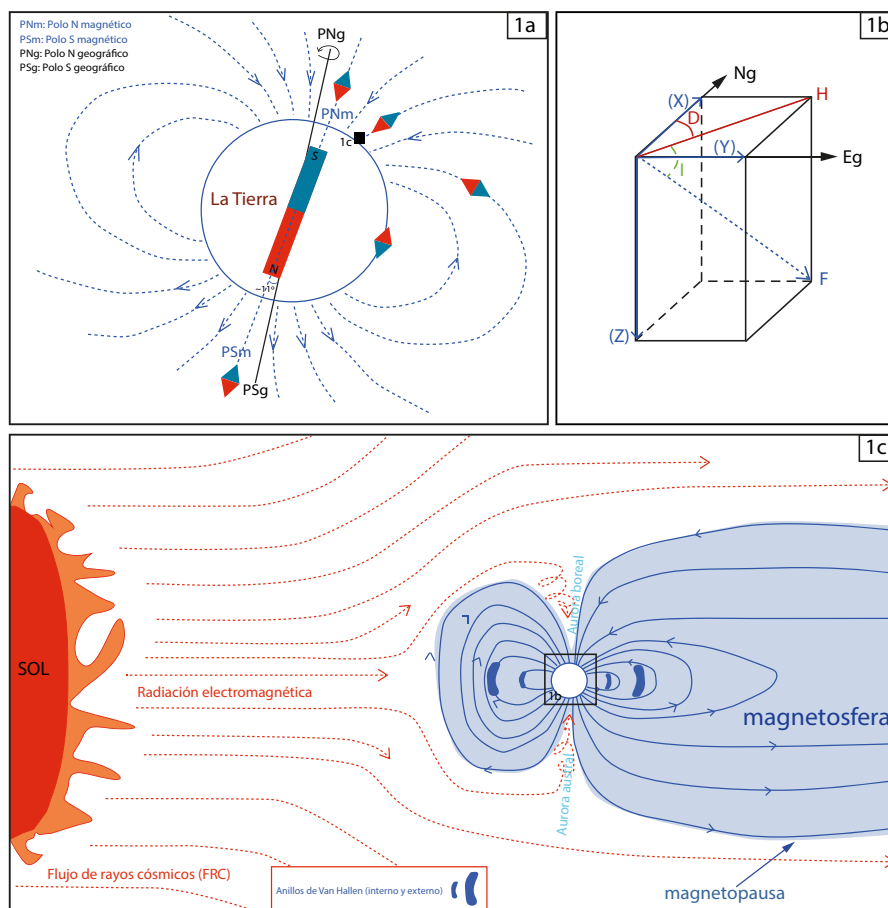


Fig. 1. a) Detalle de la orientación de las líneas del CMT respecto al eje de rotación de la Tierra. b) Vector magnético en la superficie terrestre descompuesto en las coordenadas cartesianas ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) y donde se han señalado Norte geográfico ( $N_g$ ), Este geográfico ( $E_g$ ) y los ángulos de declinación ( $D$ ) e inclinación ( $I$ ) del vector  $F$ . c) Representación simplificada de la protección que representa la magnetosfera a la radiación electromagnética del sol y del espacio. La forma de la magnetosfera está condicionada por el campo dipolar generado por el núcleo externo de la Tierra y por el viento solar.

de observaciones actuales. Las observaciones actuales del CMT se realizan en observatorios geomagnéticos distribui-

dos por toda la superficie terrestre en el marco de la red INTERMAGNET (por sus siglas en inglés: *International Real-*

*Time Magnetic Observatory Network*), creada a finales de los años 80 para desarrollar infraestructuras de intercambio y tratamiento de datos. En esta red participan más de 57 instituciones de 40 países que mantienen 120 observatorios (Love y Chulliat, 2013). España participa en esta red con cuatro observatorios: San Pablo de los Montes (Toledo), Güimar (Tenerife), Ebro (Tarragona) y San Fernando (Cádiz). Los datos recogidos por la red de observatorios en superficie INTERMAGNET y a través de satélites sirven para generar el campo de referencia geomagnética internacional (IGRF: *International Geomagnetic Reference Field*).

El CMT no es estable, está en continuo cambio. Uno de los factores externos a la Tierra que afecta al CMT son las tormentas magnéticas. Durante una tormenta magnética, el viento solar interactúa con la magnetosfera terrestre provocando reajustes en las líneas del CMT y modificándolo externamente (Fig. 1c). Las tormentas magnéticas pueden afectar a comunicaciones por radio, reducir la precisión de los sistemas de posicionamiento global (GPS), dañar las partes electrónicas de satélites dificultando sus operaciones, aumentar la corrosión de tuberías y provocar saltos de tensión en la red eléctrica ocasionando apagones (por ejemplo, se calcula que el apagón sufrido el 13 de marzo 1989 en Quebec, Canadá, supuso pérdidas económicas de 13.2 millones de dólares, *Natural Resources Canada*, datos actualizados en 2015). Además de estas variaciones extremas debidas a tormentas magnéticas que pueden durar entre horas y días, el CMT experimenta otros tipos de variaciones. Las de menor duración son las variaciones diarias, debidas al sol, que tienen un rango de duración de horas. Las de más larga duración, relacionadas con variaciones en la dinámica del núcleo externo, son las variaciones seculares (entre 100 y 1000 años), las excursiones magnéticas, las transiciones y los intervalos entre inversiones, que son cambios de polaridad del CMT (el rango temporal es más amplio en estos casos, entre 1000 años y 1 millón de años, Opdyke y Channel, 1996).

Gracias al Paleomagnetismo y el estudio de datos paleomagnéticos de rocas, sedimentos y artefactos arqueo-

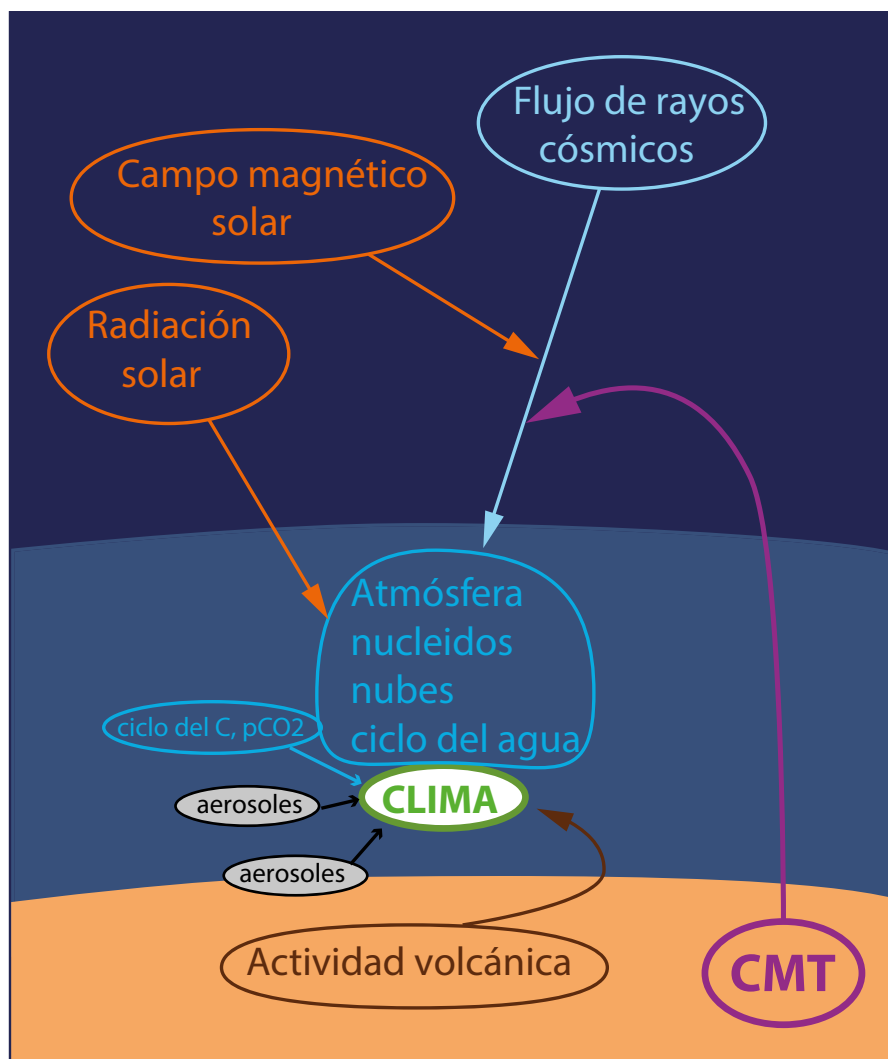


Fig. 2. Modelo simplificado de las relaciones entre diferentes factores que afectan al clima. La radiación solar resume el aporte solar sobre un amplio rango de frecuencias, que está íntimamente ligado a la variación del campo magnético solar. El flujo de rayos cósmicos tiene origen extrasolar. Ambos factores (radiación solar y rayos cósmicos) están regulados por el campo magnético solar y el terrestre (CMT). Los cambios en el flujo de radiación solar y CMT afectan a la atmósfera e hidrosfera: nucleación de nubes, formación de nucleidos cosmogénicos (ej.  $^{10}\text{Be}$ ), cambios en el ciclo del agua (gases de efecto invernadero). Estos factores y sus complejas interacciones resultan en cambios de temperatura en los niveles inferiores de la troposfera, considerada como un aspecto del clima (Courtilot et al., 2007). Modificada de Courtilot et al., 2007 y referencias.

magnéticos, sabemos que el CMT también ha ido variando en el pasado. Estudios de inversiones producidas en los últimos 2 Ma basados en resultados paleomagnéticos de sedimentos marinos cotejados con los de rocas volcánicas han demostrado que cuando se produce una inversión del CMT (cambio de polaridad), la intensidad del CMT desciende unos 60-80 mil años antes de que se produzca la inversión y aumenta en tan solo unos pocos miles de años después de ésta (Valet et al., 2005). Las observaciones sistemáticas realizadas del CMT desde la primera mitad del siglo XIX muestran una caída de la intensidad del CMT que ha llevado a especular so-

bre la proximidad de una inversión del CMT. El descenso de la intensidad del CMT hasta su desaparición y sus consecuencias ha sido objeto de representación en películas de entretenimiento como "El núcleo" (2003), de poco rigor científico. El descenso de intensidad del CMT observado recientemente no indica una inversión del CMT inminente, ya que la combinación de las observaciones recientes del CMT junto con modelos y simulaciones numéricas de la geodinamo así lo sugiere (Constable y Korte, 2006). Además, el valor del dipolo actual es alto dentro de los valores del cron de polaridad normal presente (cron Brunhes, que representa los últi-

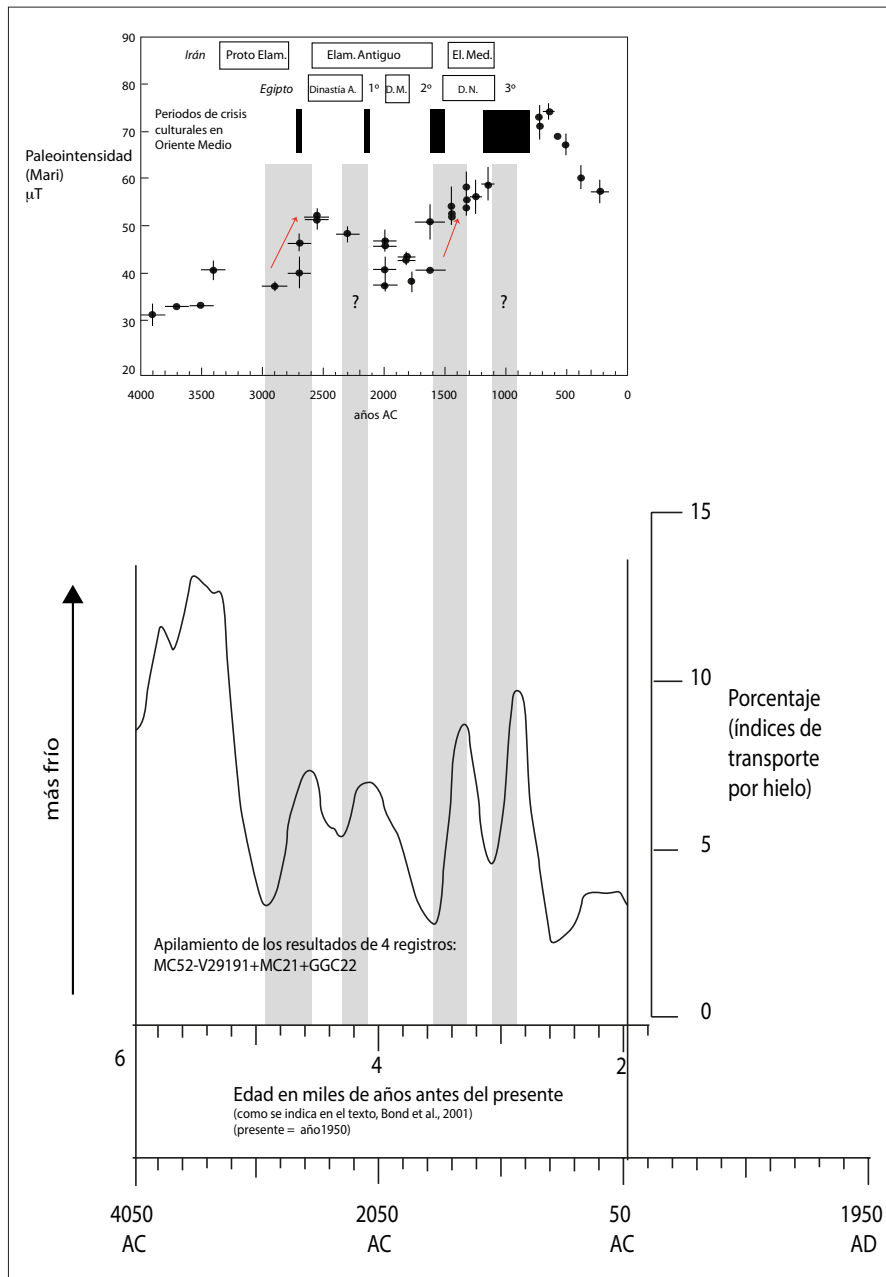


Fig. 3. Relación entre los cambios de paleointensidad rápidos (Gallet *et al.*, 2006 y referencias) y periodos más fríos (rectángulo gris) obtenidos a partir de material arrastrado en icebergs y encontrado en sondeos marinos del Atlántico (Bond *et al.*, 2001). En la figura superior se comparan cambios en civilizaciones descritos en el texto y datos de paleointensidad del CMT a partir de muestras tomadas en la ciudad de Mari, localizada en el curso del río Éufrates en Siria oriental (Gallet *et al.*, 2006). Nótese que temporalmente, no acaban de coincidir los periodos climáticos fríos con los momentos de mayor intensidad del CMT. Modificada de Gallet *et al.* (2006) y Bond *et al.* (2001).

mos 781.000 años) (Constable y Korte, 2006).

En los últimos años se ha intentado establecer, sin demasiado éxito, una relación entre los cambios de intensidad del CMT con cambios en el clima. La temperatura de la superficie terrestre depende en primera instancia de la energía irradiada por el sol, además de los gases de efecto invernadero (sien-

do los principales  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $CH_4$ ) que permiten el reflejo de la radiación infrarroja de nuevo hacia la superficie terrestre y el consiguiente aumento de la temperatura. Los cambios de temperatura en la superficie terrestre debidos a los cambios de insolación son periódicos. Se conocen como ciclos de Milankovic (Milankovic, 1941), presentan diferentes rangos temporales y

son debidos a cambios orbitales y del eje de rotación de la Tierra (excentricidad de la órbita terrestre, precesión y cambio en la inclinación del eje de rotación). Estos cambios orbitales se han detectado en la ciclicidad sedimentaria (Olsen, 1986) e incluso se han sonificado (Simón *et al.*, 2015). La posible relación entre los cambios de intensidad del CMT de origen interno debidos a los ciclos de Milankovic, y el clima, se ha analizado comparando análisis espectrales de la intensidad del CMT con cambios orbitales y se han encontrado resultados contradictorios. Por un lado, se ha visto que intensidades mínimas en el CMT se correlacionan con mínimos en la oblicuidad en el cron Brunhes (últimos 781.000 años), por tanto posiblemente relacionados con cambios de origen interno del CMT (Courtilot *et al.*, 2007). Por otro lado, se ha encontrado una relación positiva entre la intensidad del CMT y la precesión (Channell *et al.*, 1998). Sin embargo, en otros trabajos donde se han analizado resultados de los últimos 5.5 Ma y 800 mil años no se encuentra esa relación entre CMT y cambios orbitales (Kent y Carlut, 2001). Así pues, la posible conexión entre los cambios de intensidad del CMT de origen interno y los ciclos orbitales y, por tanto, los cambios de temperatura de la superficie terrestre, sigue a debate (Courtilot *et al.*, 2007).

Otro factor que afecta al clima son las nubes (mayor número de nubes, menor temperatura por el aumento del albedo, Carlsaw *et al.*, 2002). El CMT también puede estar relacionado con la generación de núcleos de condensación de las nubes, ya que los rayos cósmicos se correlacionan con la presencia de núcleos de condensación de nubes durante un ciclo solar (Carlsaw *et al.*, 2002). A mayor intensidad de rayos cósmicos, mayor número de nubes bajas y menor temperatura. Los rayos cósmicos se componen principalmente de protones de alta energía generados en la galaxia. Cuando entran en la heliosfera, los rayos cósmicos son desviados por los campos magnéticos del viento solar y también por el CMT (Carlsaw *et al.*, 2002), por lo que a mayor intensidad del CMT, mayor desviación de rayos cósmicos (Fig. 1c). Esta relación entre los rayos cósmicos y la generación de núcleos de condensación de nubes se cumple para ciclos

solares recientes. Sin embargo, cuantificar la intensidad del flujo de rayos cósmicos en el pasado se complica, ya que ese cálculo de la intensidad de los rayos cósmicos se realiza a partir de los cosmocronómetros  $^{10}\text{Be}$  y  $^{36}\text{Cl}$  que, a su vez, están condicionados por la intensidad del CMT (Carlsaw *et al.*, 2002) (Fig. 2).

Estudiando el registro del CMT en el pasado, se ha observado una cierta relación entre la intensidad del CMT y el clima, lo que a su vez, ha provocado cambios en antiguas civilizaciones del Mediterráneo oriental (Gallet *et al.*, 2006). Los cambios en la intensidad del CMT se analizaron a través de resultados paleomagnéticos provenientes de restos arqueológicos del Mediterráneo oriental y Oriente Próximo, con edades comprendidas entre 4000-0 años AC (Gallet *et al.* 2006; Genevey *et al.*, 2003; Gallet y Le Goff, 2006) (Fig. 3). En el trabajo de Gallet *et al.* (2006), los autores tienen en cuenta los siguientes cambios en antiguas civilizaciones (apariciones, desapariciones o transiciones): 1) las transiciones en las dinastías egipcias (antigua, media y nueva) que ocurrieron entre 2150-2000 años AC, 1800-1550 años AC y 1100-650 años AC (Clayton, 1994), 2) el colapso de la civilización Acádica que ocurrió hace 2150 años AC en Mesopotamia (Weiss *et al.*, 1993), 3) entre 1700 y 1500 años AC, la suspensión de actividades económicas entre el valle del Indo y los de Mesopotamia y Asia Central, la desaparición de sociedades como las de la Primera dinastía de Babilonia y la fragmentación de civilizaciones del valle del Indo además de la desaparición de la civilización Minoica en el Egeo y, 4) el colapso de las sociedades del Mediterráneo entre 1200-800 años AC (Gallet *et al.*, 2006 y referencias). Sin embargo, la causa principal de la desaparición de la civilización Minoica estaría relacionada, para otros autores, con las erupciones en 1627-1600 años AC (Friedrich *et al.*, 2006), discutiéndose si la consiguiente generación de tsunamis causó el declive de dicha civilización (Dominey-Howes (2004).

Pese a la incertidumbre de las dataciones arqueológicas, varios autores relacionan los anteriores cambios y crisis de sociedades del Mediterráneo oriental y Mesopotamia con momentos de alta intensidad del CMT y periodos fríos en el Atlántico Norte entre el ter-

cer y segundo milenio AC (Fig. 3) (Gallet *et al.*, 2006). Además, las variaciones climáticas del Atlántico Norte coinciden con un debilitamiento del monzón asiático y un aumento de la aridez en latitudes medias-bajas (como Mesopotamia) (Gupta *et al.*, 2003).

A pesar de cierta coincidencia temporal entre esos cambios de civilizaciones antiguas y la intensidad del CMT, no se detallan otros posibles factores que pueden influir en el clima de ma-

nera más local (como es el vulcanismo de la isla griega de Santorini antes mencionado). El hecho de que haya pocos trabajos que relacionen la intensidad del CMT con cambios climáticos, sugiere que no se ha encontrado más relación entre ambos de manera concluyente. ●

#### Bibliografía

- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. y Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294, 2130-2136.
- Carlsaw, K.S., Harrison, R.G. y Kirkby, J. (2002). Cosmic rays, clouds, and climate. *Science*, 298, 1732-1737.
- Channell, J., Hodell, D.A., McManus, J. y Lehman, B. (1998). Orbital modulation of the Earth's magnetic field intensity. *Nature*, 394, 464-468
- Clayton, P. (1994). *Chronicle of the Pharaohs*. 224 pp. Thames y Hudson (Eds.), London.
- Constable, C. y Korte, M. (2006). Is Earth's magnetic field reversing? *Earth and Planetary Science Letters*, 246(1), 1-16.
- Courtillot, V., Gallet, Y., Le Mouél, J. L., Fluteau, F., y Genevey, A. (2007). Are there connections between the Earth's magnetic field and climate? *Earth and Planetary Science Letters*, 253(3), 328-339.
- Dominey-Howes, S. (2004). A re-analysis of the Late Bronze Age eruption and tsunami of Santorini, Greece, and the implications for the volcano-tsunami hazard. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 130 (1-2), 107-132.
- Friedrich, W.L., Kromer, B., Friedrich, M., Heinemeier, J., Pfeiffer, T. y Talamo, S. (2006). Santorini eruption radiocarbon dated to 1627-1600 BC. *Science*, 312(5773), 548-548.
- Gallet, Y., Genevey, A., Le Goff, M., Fluteau, F. y Eshraghi, A. (2006). Possible impact of the earth's magnetic field on the history of ancient civilizations. *Earth and Planetary Science Letters*, 246, 17-26.
- Gallet, Y. y Le Goff, M. (2006). High-temperature archeointensity measurements from Mesopotamia. *Earth and Planetary Science Letters*, 241, 159-173.
- Genevey, A., Gallet, Y. y Margueron, J.C. (2003). Eight thousand years of geomagnetic field intensity variations in the eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 108 <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB001612>
- Gupta, A., Anderson, D. y Overpeck, J. (2003). Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their link to the North Atlantic ocean. *Nature* 421,354-357.
- Kent, D.V. y Carlut, J. (2001). A negative test of orbital control of geomagnetic reversals and excursions, *Journal of Geophysical Research Letters*, 28, 3561-3654.
- Love, J.J. y Chulliat, A.C. (2013). An International Network of Magnetic Observatories. American Geophysical Union. *Eos*, 94 (42), 373-384.
- Milankovic, M. (1941). Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. *Royal Serbian Academy of Sciences Spec. Publ.*, 133, 633 p.
- Natural Resources Canada, actualizada 16 abril 2015 (consultada el 13 de Junio de 2016). <http://www.spaceweather.gc.ca/tech/se-pow-en.php>.
- Olsen, P.E. (1986). A 40-Million-Year lake record of early Mesozoic orbital climate forcing. *Science*, 234, 842-848.
- Opdyke, N.D. y Channell, J.E.T. (1996). *Magnetic Stratigraphy*. Academic, London (1996), p. 392
- Simón, J.L., Ezquerro, L. y Fraile, M.A. (2015). Música de la tierra, música de las esferas: de la cicloestratigrafía a las emociones. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.3, 294-299.
- Valet, J.P. (2003). Time variations in geomagnetic intensity. *Reviews of Geophysics*, 41 (1).
- Weiss, H., Courty, M.A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R. y Currow, A. (1993). The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization. *Science*, 261, 995-1004.