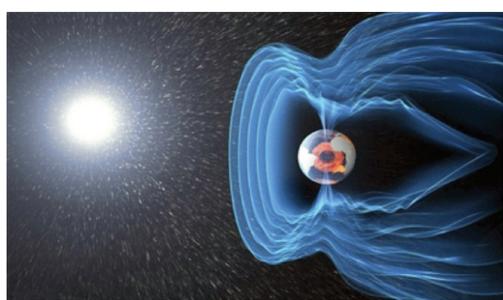


EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE, EVIDENCIAS E INTERROGANTES

Jorge Oyarzún Muñoz*

El campo magnético genera la llamada magnetosfera, que protege la superficie de la Tierra de las partículas con carga eléctrica emitidas por el Sol, excepto durante sus cortas etapas de inversión de polaridad, cuya distribución cronológica sigue siendo un enigma científico.

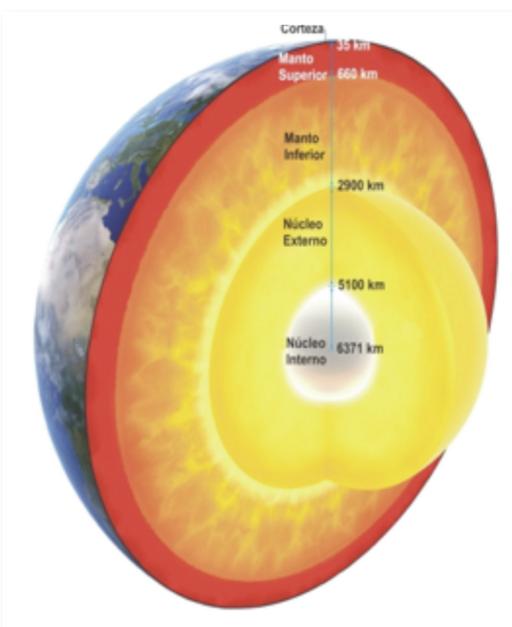


Nuestra relación con el Campo Magnético Terrestre (CMT) data de al menos mil años, con el invento de la brújula. Su estudio científico se inició con los trabajos del médico Gilbert alrededor del año 1600, continuó en 1750 con Michel, que determinó que la atracción de los polos disminuye con el cuadrado de la distancia y se consolidó en 1840 con el modelo matemático de Gauss (Moen, 2004). En 1850 se descubrió la relación entre las perturbaciones de la actividad solar y su efecto en el CMT, las que se explicaron posteriormente por el descubrimiento de Oersted (1820) de que una corriente eléctrica induce un campo magnético. Dicho descubrimiento está en la base de los modelos propuestos para explicar el CMT, como el presentado por Larmoren 1919 (Moen, 2004). Estos modelos han utilizado y realimentado los de la estructura interna de la Tierra, basados en información geológica y geofísica sísmica.

En términos simplificados nuestro planeta presenta una estructura interior caracterizada por la existencia (desde el interior hacia el exterior) de un núcleo interno rígido de hierro de

unos 1.200 Km de radio, rodeado por un núcleo externo de baja rigidez, por un manto silicatado y finalmente la corteza oceánica o continental.

Si el núcleo externo contiene electrones libres y si su velocidad de rotación es algo diferente de la del interno, ambos núcleos pueden configurar un electroimán. Este modelo implica complejidades aún no resueltas, pero permite prever un comportamiento inestable que implicaría inversiones de su polaridad. Aunque la declinación magnética y sus cambios



■ Estructura interna de la Tierra. Adaptada de DESY (2013).

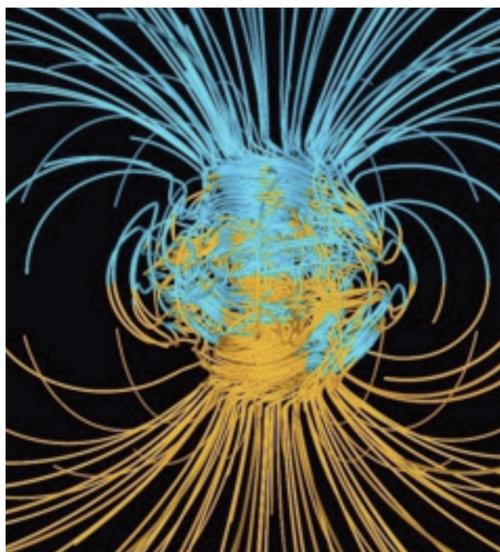
* Geólogo (U.Ch.) Dr. Geoquímica y Dr. de Estado en Ciencias (U. París) Prof. Titular. Depto. Ing. Minas. Universidad de La Serena.

en el espacio y en el tiempo fueron conocidas casi desde el invento de la brújula, la primera inversión de polaridad se descubrió recién en 1929. Ello fue logrado por el japonés Matuyama quien detectó la inversión actualmente datada entre 2.58 y 0.78 millones de años (Ma).

Naturaleza del campo magnético

La física moderna reconoce cuatro interacciones o fuerzas fundamentales: la gravitatoria, la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil. La electromagnética incluye la fuerza electrostática entre cargas en reposo y la producida por el efecto combinado de las fuerzas eléctrica y magnética que actúan entre cargas que se mueven una respecto a la otra. En el segundo caso se generan campos magnéticos como el de la Tierra. A diferencia del campo gravitacional, el magnético se caracteriza por su bipolaridad, que se expresa en líneas de fuerza cerradas que unen los dos polos.

La principal causa del magnetismo radica en el movimiento de los electrones en torno al núcleo, a lo que se agrega el espín ("rotación" en torno a su eje) de los electrones. Aunque el espín de los protones no contribuye al magnetismo, tiende a



■ Simulación por computadora del campo magnético de la Tierra en un período de intensidad normal. Glatzmaier (2013), figura tomada de Wikimedia (2015).

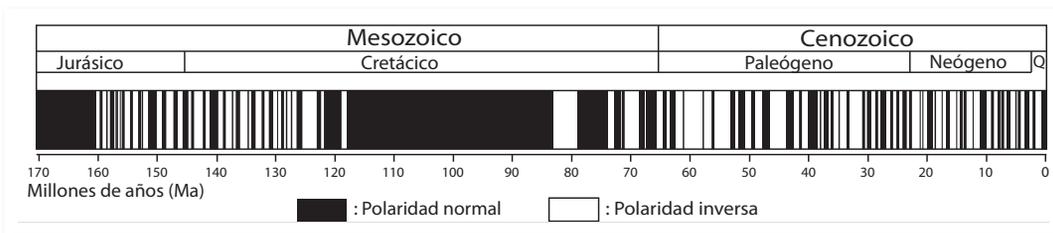
"alinearse" en presencia de campos magnéticos, lo cual se utiliza en la elaboración de magnetómetros. Normalmente, la distinta orientación de los átomos anula su efecto magnético, lo que no ocurre cuando ellos presentan grados de alineamiento en dominios microscópicos, como ocurre en el caso de los imanes naturales o inducidos.

La columna de inversiones del CMT

El descubrimiento de Matuyama impulsó el interés por el relevamiento de información geomagnética y geocronológica. Ello implicaba la toma de muestras orientadas en secuencias de rocas volcánicas efusivas en distintos continentes, las que retienen la polaridad magnética existente en el momento que se cristalizan. Dichas muestras son luego sometidas en laboratorio a determinaciones magnetométricas y dataciones radiométricas. Con esa información, obtenida laboriosa y metódicamente, en muchos casos a costa de enfrentar penurias y riesgos, se elaboró una columna de inversiones del CMT, cuyo valor geológico ulterior no se sospechaba aún. Éste se reveló a principios de los años 1960's, cuando dicha columna permitió interpretar y datar las fajas simétricas de polaridad alternada en torno a las dorsales oceánicas y establecer así la expansión de los fondos oceánicos, elemento central de la Tectónica de Placas (ver Revista de Marina 3, 2015).

La columna de inversiones del CMT plantea el problema del por qué ha habido largos períodos de polaridad estable, como el registrado entre los 120 y 83 Ma, en contraste con otros cuando las inversiones ocurrieron cada cientos de miles de años o menos; este es el caso de las 184 inversiones de los últimos 83 Ma (Conde y Kent, 1995), o de las 23 inversiones de los últimos 5 Ma).

En comparación, el campo magnético del sol muestra inversiones frecuentes y regulares cada 10 a 20 años, y durante éstas el campo magnético crece en lugar de debilitarse como sucede en el caso del CMT. Aunque el CMT se ha debilitado progresivamente en el curso de los últimos 160 años (para los que se cuenta con mediciones confiables), no se estima probable una inversión de polaridad cercana. Al respecto, se considera que durante una inversión el CMT puede llegar



■ Columna de inversiones del campo magnético para el Mesozoico y Cenozoico (últimos 170 Ma) mostrada aquí horizontalmente.

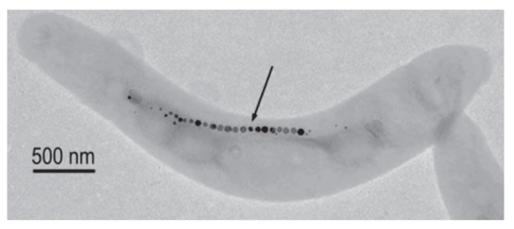
a sólo un 5% de su intensidad normal, lo cual podría tener efectos biológicos por la falta de protección respecto al “viento solar”, en el curso de los 100 años que se estiman dura el proceso de inversión (Sanders, 2014).

Connotaciones biológicas del CMT y sus inversiones

El CMT se relaciona con la vida a través de dos aspectos principales. El primero es el uso de cristales de magnetita por algunas especies de bacterias, que lo utilizan para distinguir entre la zona aeróbica superior oxigenada de los cuerpos de agua de la inferior reductora. Ello es crucial para las bacterias aeróbicas (que usan el oxígeno presente en la zona superior) y para las anaeróbicas, adaptadas a la zona inferior reductora, y se logra a través del sentido de las líneas de fuerza, distinto en ambos hemisferios de la Tierra.

Cristales de magnetita (Fe_3O_4) formados por procesos de biomineralización en la bacteria *Magnetospirillum Gry physwaldense* (Sandbian, 2015).

Igualmente, algunas especies de aves migratorias presentan microcristales de magnetita en su cerebro, que junto con la luz parecen desempeñar



■ Cristales de magnetita (Fe_3O_4) formados por procesos de biomineralización en la bacteria *Magnetospirillum Gry physwaldense* (Sandbian, 2015)

un rol importante en sus viajes migratorios (Wiltschko et al 1994).

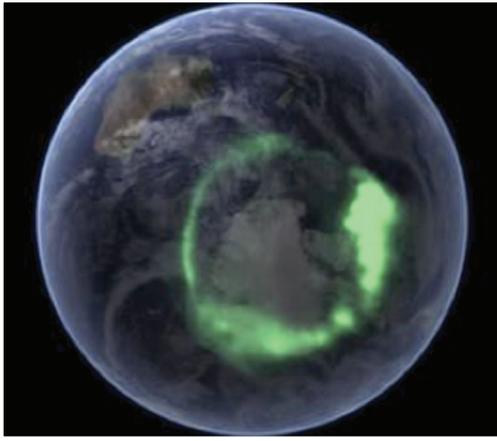
El CMT desempeña una función importante en la deflexión del flujo de partículas con carga eléctrica y efecto ionizante procedentes del sol (electrones, protones y partículas alfa), de manera que ejerce una función de protección sobre el material genético de las especies biológicas (Moen, 2004). Este hecho ha llevado a algunos investigadores como Crain (1971) y Hays (1971) a postular que el debilitamiento del CMT durante las inversiones puede haber sido responsable de la extinción de algunas especies, pero se carece de evidencias estadísticas sólidas a este respecto. El efecto del CMT sobre las partículas procedentes del sol es responsable de las llamadas auroras boreales y australes (Mullard Space Science Laboratory, 2015): las luces del norte y del sur que a menudo se pueden ver en la noche cerca de los círculos Ártico y Antártico. Las auroras son causadas por la colisión de las partículas, aceleradas por la magnetosfera, con las estratoféricas, a altitudes entre 100 y 200 km.

También es importante considerar las importantes perturbaciones locales del campo magnético generadas por las líneas de transmisión de corriente de alta tensión, cuyos efectos sobre la salud humana son aún materia de controversia.

Las imágenes desde el espacio nos muestran que las auroras forman óvalos gigantes centrados en los polos magnéticos de la Tierra (UCL Department of Space & Climate Physics, 2015).

El CMT, la exploración minera y la detección de submarinos

La presencia de anomalías del CMT permite diversas aplicaciones prácticas, como la detección de yacimientos metálicos con magnetita (Fe_3O_4)



Las imágenes desde el espacio nos muestran que las auroras forman óvalos gigantes centrados en los polos magnéticos de la Tierra (UCL Department of Space & Climate Physics, 2015).

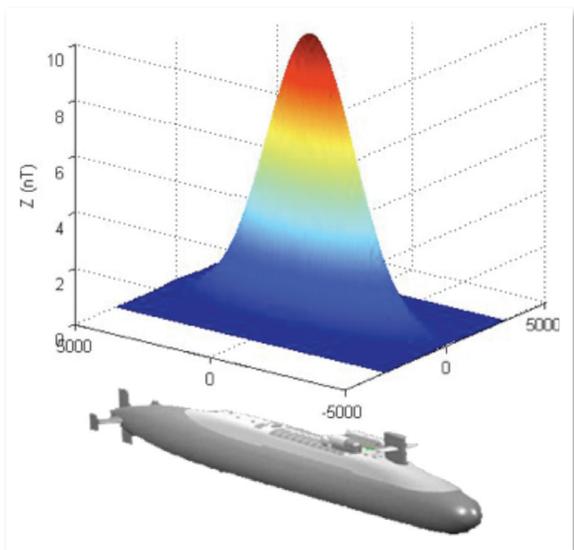
o pirrotina (FeS), la de contaminantes enterrados en barriles de acero y la de submarinos navegando a profundidad moderada. En todos estos casos se utiliza la distorsión del CMT producida por la atracción de las líneas de fuerza ejercida por materiales de alta permeabilidad magnética. La magnetometría de exploración de yacimientos metalíferos (Oyarzún, 2011) se basa en la detección de la presencia significativa de minerales magnéticos, tales como magnetita o pirrotina en cuerpos mineralizados. Se aprovecha el efecto de atracción que los cuerpos geológicos que poseen alta permeabilidad magnética ejercen sobre las líneas de fuerza del campo magnético total. La magnetometría se puede realizar en tierra o aerotransportada.

La aplicación a detección de submarinos surgió de la adaptación del magnetómetro de exploración discriminador de flujo desarrollado en los 1930's por V. Vacquier, que permite determinar tanto la intensidad de la anomalía como la orientación de sus líneas de fuerza. Su aplicación en conjunto con el sonar por las fuerzas antisubmarinas de EE. UU. y Japón (tecnología MAD) permitió detectar submarinos desde buques y aviones. Esta tecnología fue también útil en la detección de submarinos con casco de titanio (como eran los submarinos

soviéticos de ataque de la Clase Alfa), debido a la presencia de acero en sus componentes internos.

Conclusiones

El Campo Magnético Terrestre tiene una importancia crucial para la vida en nuestro planeta: no sólo permite la orientación de las aves para sus desplazamientos migratorios o la orientación entre un punto y otro, sino que la magnetosfera nos mantiene protegidos de la radiación cósmica. En este sentido, un problema principal para una eventual colonización de Marte en un futuro lejano, radicaría en que Marte no ofrece protección alguna contra ella. Entre los temas de investigación de mayor interés planteados por el Campo Magnético Terrestre (CMT) está el de los posibles factores geológicos o externos que puedan explicar las grandes diferencias observadas entre las frecuencias de cambio de polaridad. También



Huella magnética de un submarino (nT: nano Teslas). William E. Boeing Department of Aeronautics & Astronautics (2014).

es importante dilucidar sus efectos biológicos en materias como su interacción con las grandes líneas transmisoras de energía eléctrica. Pese a que el magnetismo y el CMT han sido objetos de abundantes estudios, quedan aún muchos aspectos por aclarar y seguramente por descubrir, incluidas nuevas aplicaciones prácticas.
