

# El Magnetismo Terrestre

¿Nuevos conceptos  
para una vieja realidad?



**P**redecir el futuro siempre ha sido una tarea por demás azarosa, más aún en el campo científico, en donde es frecuente que el avance sea a saltos, y no en forma paulatina. Los ejemplos de avances “cuánticos” en diversas áreas de la ciencia pueden multiplicarse, basta citar, por mencionar sólo unos ejemplos: la relatividad, la mecánica cuántica y los agujeros negros.

Sin embargo, existen áreas de la ciencia que por su naturaleza no parecen proclives a descubrimientos espectaculares. Una de estas áreas es la del geomagnetismo, esto es, el estudio del campo magnético terrestre. Para el común de la gente, el magnetismo de la Tierra está simplemente asociado con el uso de una brújula, y esto, sólo para saber dónde queda el Norte. Para muchos científicos el campo magnético de la Tierra es uno de esos temas arcaicos, útiles para la navegación, y casi una simple curiosidad de laboratorio de física en secundaria y preparatoria.

En este contexto, se puede uno plantear legítimamente la pregunta de si ha habido algo notable en este campo en el siglo XX, o si se prevee para el siglo XXI algún descubrimiento o la solución de algunos de los problemas básicos asociados con el campo magnético de nuestro planeta.

## I. EL PARTEAGUAS DEL SIGLO XX

### *La magnetósfera*

Describir en unas cuantas líneas lo que fue el siglo XX para el geomagnetismo no es tarea fácil. De la imagen “clásica” del

campo terrestre, semejante a un gran imán colocado en el centro de la Tierra, a la imagen presente, hay una diferencia sustancial. Sin lugar a dudas, el descubrimiento más importante fue el de la magnetósfera o cavidad magnética en la cual se encuentra colocada la Tierra. Esta cavidad se forma en el espacio como resultado de la acción del campo magnético terrestre que no permite que las partículas cargadas (protones y electrones principalmente) emitidas continuamente por la atmósfera superior del Sol lleguen directamente a la atmósfera terrestre.

El campo magnético actúa pues como un “escudo magnético”, desviando este flujo hacia los lados y evitando que calienten nuestra atmósfera. Un resultado de esta interacción es que por el lado de atrás (en dirección opuesta al Sol) esta cavidad se extiende formando lo que se ha denominado la “cola magnetosférica”. La longitud de esta “cola” aún no ha podido ser determinada pero se sabe que se extiende hasta distancias mayores a un millón de kilómetros. Estos descubrimientos, que se iniciaron en 1960 con los primeros satélites artificiales, mostraron que nuestro planeta se encuentra en el interior de una cavidad magnética que tiene la forma de un cometa con la Tierra como una pequeña esfera en la parte delantera.

El segundo descubrimiento en importancia (aunque primero en el tiempo) fue el de los anillos de Van Allen. Estos “anillos” constituyen una zona del espacio que rodea a la Tierra como dos inmensas donas, una dentro de la otra. En el interior de estas donas o anillos se mueven a altas velocidades gran cantidad de partículas eléctricas que están “atrapadas” por el campo magnético. A pesar de su elevada velocidad, el

campo magnético las obliga a girar y girar alrededor del propio campo y alrededor de la Tierra, en trayectorias que no les permiten liberarse de esta fuerza magnética. Si bien el número total de partículas es pequeño comparado con la densidad del aire, por ejemplo, sus altas velocidades las hacen potencialmente peligrosas, por lo que los viajes tripulados y las misiones orbitales se calculan cuidadosamente para evitar el peligro de cruzar estas regiones.

Existen muchos otros aspectos interesantes de la magnetósfera que por espacio no podemos tratar, pero creo que estos dos reflejan claramente hasta qué punto cambió nuestra imagen del campo geomagnético.

### *Los polos viajeros*

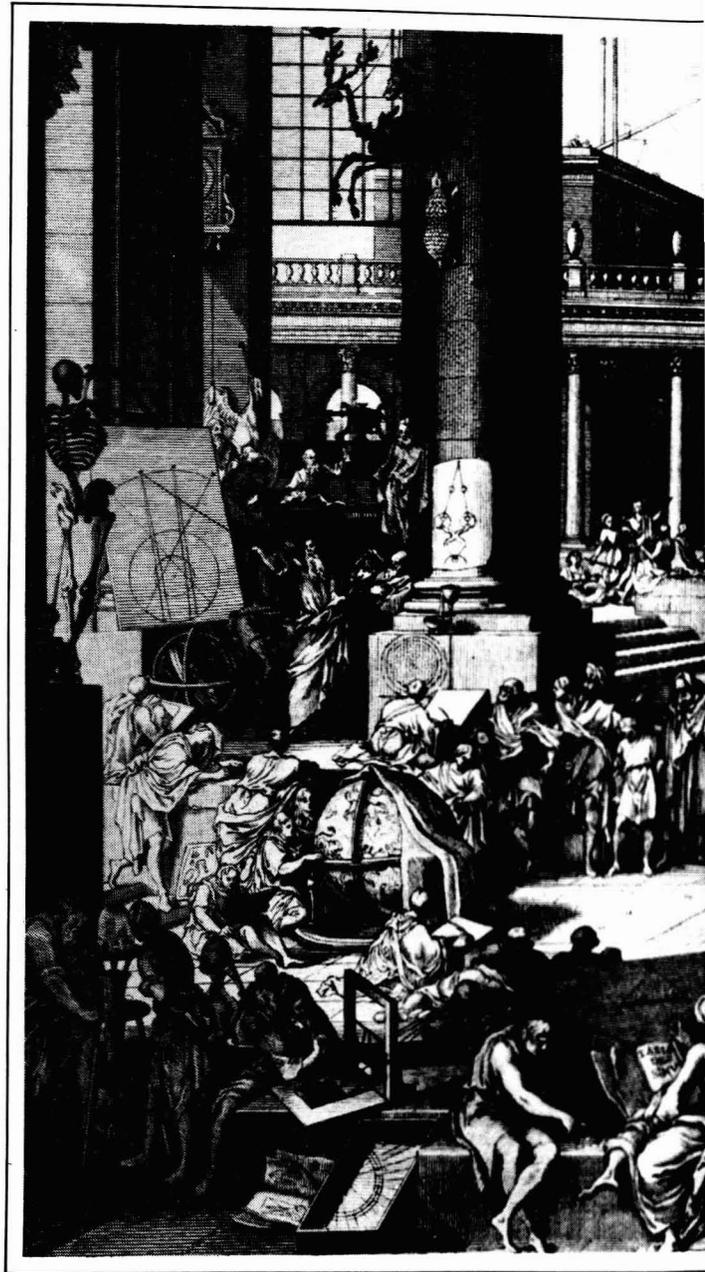
Otro aspecto revolucionario del geomagnetismo, el cual ya se conocía en siglos pasados, fue el de la "variación secular", esto es, el cambio a largo plazo en el campo magnético terrestre de origen interno. Consultando los registros que se tienen desde el siglo XVI en Inglaterra, se sabía que la dirección en que apunta la brújula ha ido cambiando paulatinamente en el transcurso del tiempo. No existía sin embargo una idea de qué tan grande, largo o profundo podía ser este cambio. En el transcurso de este siglo, se han establecido varias conclusiones sobre el tema. Una de las manifestaciones más espectaculares de esta variación, es el desplazamiento de los polos magnéticos.

Ya los exploradores polares a principios de este siglo habían descubierto que de un día a otro la posición del polo magnético cambiaba. Estos cambios eran a veces de varios kilómetros, y se producían como resultado de lo que se conoce como "perturbaciones del campo magnético". Sin embargo, existe un cambio gradual que provoca que estos polos magnéticos se vayan desplazando alrededor del polo geográfico siguiendo una lenta trayectoria irregular.

En el curso del presente siglo, este desplazamiento ha sido de varios grados en latitud y longitud, obligando a que las cartas magnéticas se deban recalcular periódicamente. El estudio detallado de esta variación ha mostrado que la parte más importante del campo magnético ha venido disminuyendo consistentemente desde que se inició dicho estudio. Este fenómeno no ha sido aún bien definido pero no cabe duda que, junto con el mecanismo físico que da origen a este campo, se trata de dos de los interrogantes más importantes en este campo.

### *Inversiones del campo magnético*

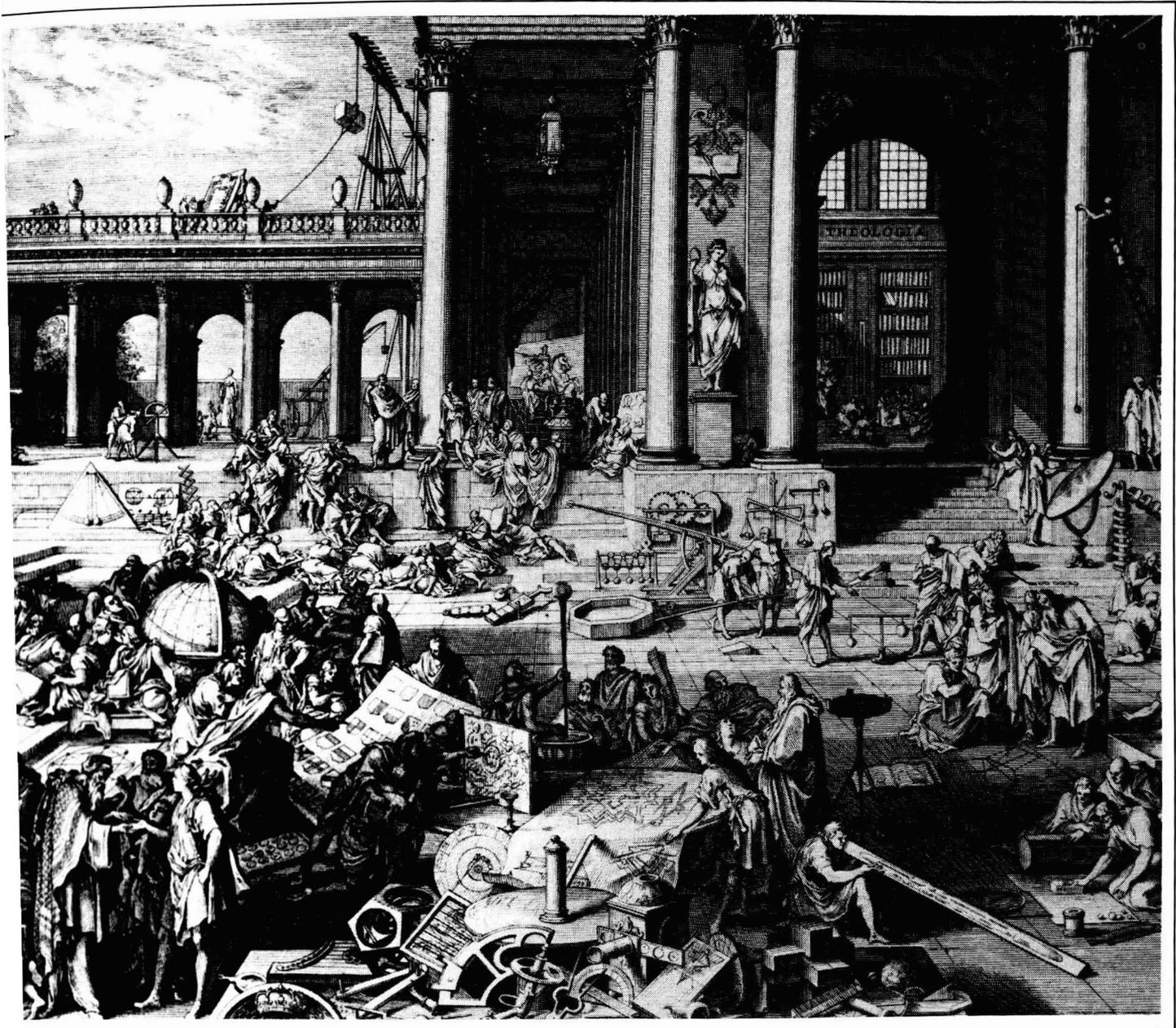
Finalmente, en esta revisión a vuelo de pájaro de los hitos del geomagnetismo en el siglo XX, debemos mencionar el paleomagnetismo o estudio del campo magnético en eras geológicas anteriores. El descubrimiento de que cierto tipo de rocas y minerales tienen la habilidad de "congelar" el campo magnético en el momento de su formación abrió todo un mundo de posibilidades para el estudio de la evolución a largo plazo de este fenómeno. En los años cincuenta un conjunto de estudios en el fondo del Océano Atlántico a los lados de la cordi-



llera centro-oceánica mostró, sin lugar a dudas, que los polos magnéticos de la Tierra habían invertido su polaridad en varias ocasiones en el pasado. Estudios posteriores en diversas partes de la Tierra han corroborado el hecho de que en el hemisferio norte han existido sucesivamente polos magnéticos positivos y negativos coincidiendo con algunos otros fenómenos. La relación de estas inversiones del campo magnético con otros fenómenos como las glaciaciones, extinciones masivas etcétera, es un campo que se encuentra apenas en sus inicios.

## II. HACIA EL SIGLO XXI

¿Qué podríamos decir a grandes rasgos de lo que nos depara el próximo siglo en este campo? A mi juicio son tres grandes áreas: a) la variación secular, b) el biomagnetismo, c) recursos naturales. Desde luego que esta enumeración tiene todos los defectos de una predicción. Existen desarrollos teóricos para explicar la generación y mantenimiento del campo magnético



que podrían resultar espectaculares. El estudio del campo en el espacio vecino a la Tierra y su modulación por la actividad solar puede también dar grandes sorpresas. Igualmente el estudio del magnetismo en otros cuerpos del sistema solar arrojará luces para entender el de nuestro planeta y en fin, hay muchos trabajos particulares que no sabemos en qué momento pueden abrir campos nuevos e inesperados. Pasaremos a describir brevemente los mencionados al principio de este párrafo.

#### *La variación secular*

El conocimiento de que el campo magnético terrestre ha experimentado varias inversiones de polaridad en el pasado, y que en la actualidad su intensidad esté disminuyendo globalmente, ha abierto la inquietante pregunta sobre la posibilidad de que nos encontremos en medio de uno de estos procesos de inversión. El asunto podría ser simplemente académico si no fuera

porque existe un peligro potencial para la humanidad que aún no ha sido evaluado.

En el transcurso de una inversión magnética, la intensidad de este campo debe pasar por un valor muy cercano a cero, posiblemente con un campo remanente irregular resultado de la magnetización del material de la corteza terrestre. Este campo es relativamente pequeño comparado con el actual, y desde luego no tiene la posibilidad de mantener la cavidad magnética de que se habló al principio de este trabajo, ni tiene la posibilidad de conservar atrapada la radiación existente actualmente en los anillos de Van Allen.

Así pues, la desaparición temporal del campo magnético dejaría expuesta la atmósfera superior de la Tierra al impacto directo de las partículas provenientes del Sol que forman el llamado "viento solar". Si bien la densidad de energía que transporta el viento solar es relativamente pequeña, no tenemos ninguna idea sobre lo que este fenómeno pudiera inducir si la ausencia del campo magnético principal durara varios si-

glos. Desde luego que en esta etapa sólo se puede especular sobre cambios de temperatura, alteraciones en fenómenos convectivos y posibles cambios en el sistema de vientos troposféricos en última instancia. Este efecto es el que, de presentarse, puede tener consecuencias profundas en el clima, la agricultura, etcétera.

Por otro lado, la desaparición de los anillos de Van Allen puede influir dependiendo de la rapidez con que este fenómeno se produzca. Si el fenómeno ocurre lentamente es muy probable que no tenga un efecto apreciable; si es muy rápido sí podría tener algún impacto que debería ser evaluado.

Ahora bien, la pregunta clave es: ¿efectivamente podemos prever una inversión del campo magnético en algún futuro relativamente cercano? La respuesta a esta pregunta es que los



datos parecen indicar que sí podemos esperar una inversión en los próximos 500 años si el cambio en el campo magnético continúa en la misma dirección que en los últimos 150 años. De lo que también estamos seguros, es de que en algún momento en el futuro se debe presentar esta inversión por el simple hecho de que han ocurrido en el pasado y no hay razón para que no continúen ocurriendo.

### **El biomagnetismo**

Otro de los aspectos que considero nos traerán grandes sorpresas en el próximo siglo es el del magnetismo de los seres vivos. En épocas muy recientes se ha empezado a hablar sobre la relación entre el campo magnético y las migraciones de ciertas especies animales. Se menciona que las palomas mensajeras tienen ciertos elementos en su organismo que les permiten orientarse ayudándose del campo magnético. Se habla de efectos similares asociados con los desplazamientos de ballenas y cardúmenes de peces.

Ciertos reportes en la Unión Soviética sugieren tímidamente una relación estadística entre perturbaciones magnéticas intensas y el número de casos de ingreso a hospitales por problemas cardíacos. Se habla también de relaciones entre el campo magnético y estados de ánimo, etcétera. Si bien hasta

el momento este tipo de estudios apenas están iniciando la fase preliminar de definición y comprobación de datos básicos, considero que en un periodo no muy largo empezarán a dar resultados inesperados.

### **Recursos naturales**

El otro aspecto que me gustaría resaltar es el del uso de los estudios magnéticos para la localización y evaluación de los recursos naturales. Si bien ya en la actualidad la magnetometría es uno de los auxiliares en los levantamientos geofísicos para la localización y evaluación de diversos tipos de recursos, estas técnicas tienen una serie de limitaciones bastante considerables y sus resultados en ocasiones son simplemente indicativos. Creo que con el avance en la física de materiales, los superconductores, la física del estado sólido y el comportamiento de ciertos elementos a grandes presiones y temperaturas, las técnicas de sondeo electromagnético de la corteza superficial y profunda experimentarán avances insospechados.

Este tipo de avances permitirá a mi juicio no sólo obtener secciones tomográficas horizontales y verticales de la corteza, sino además poder registrar en forma continua sus modificaciones y estudiar la dinámica asociada con las diversas interacciones entre las diversas capas y con la atmósfera y los océanos.

### **III. EL GEOMAGNETISMO EN MÉXICO**

Hablar de geomagnetismo en nuestro país requeriría un trabajo especialmente dedicado a este aspecto. Para los fines de este trabajo baste decir por el momento que desde hace varios siglos se han hecho observaciones magnéticas esporádicas en nuestro territorio. A fines del siglo pasado se hicieron estudios más regulares y se iniciaron levantamientos magnéticos. Desde principios de este siglo se iniciaron observaciones regulares en Cuajimalpa, primero, y desde 1923 en Teoloyucan, Estado de México.

El observatorio magnético de Teoloyucan ha estado operando regularmente desde entonces y se han hecho varios levantamientos magnéticos en el curso del presente siglo. Además, tanto en la UNAM como en algunas otras universidades del país y desde luego en el INEGI, por medio de la Dirección General de Geografía, se han realizado varios trabajos en esta dirección.

Sin embargo, es evidente que se requiere un esfuerzo más coordinado y serio para poder mantener simplemente actualizada la información magnética en México. Considero que para el próximo siglo es muy importante que se generen en forma periódica las cartas magnéticas de México, se aumenten el número de puntos de observación, se desarrolle la carta de anomalías magnéticas y se promueva la formación de personal científico de alto nivel en esta disciplina. Es obvio que todas las ramas del conocimiento requieren de una atención particular, pero en función de la utilidad tanto científica como práctica que el conocimiento del geomagnetismo puede alcanzar, esta rama debe ser considerada como una de las prioritarias para el desarrollo científico y social del país. ◇