

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

INVESTIGACIÓN SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.

Investigation about some aspects of the Earth's magnetic field. Didactic implications

Francisco García-Montoya (*)

RESUMEN

Se exponen los resultados de una investigación realizada sobre el tratamiento que los libros de textos dan a aspectos del campo magnético terrestre tales como su naturaleza, polaridad y reversiones magnéticas. También se han investigado las ideas que alumnos y profesores tienen sobre dichos aspectos del campo magnético terrestre.

ABSTRACT

It is offered the results of an investigation carried out about treatment which textbooks give to some aspects of the Earth's magnetic field such as its nature, polarity and magnetic reversions. It has been investigated the concepts the students and Biology-Geology and Physical-Chemistry teachers have about those aspects of the Earth's magnetic field.

Palabras clave: Magnetismo terrestre, inversión campo magnético terrestre, ideas previas.

Keywords: Earth magnetism, reversals Earth's magnetic field, misconceptions.

INTRODUCCIÓN

En el libro de la editorial Anaya en el que se explican las pruebas de selectividad de Geología del año 1996, en la página 91 del mismo, se describe mediante un dibujo esquemático la disposición actual del Campo Magnético Terrestre (CMT). El dibujo es similar al esquema de la figura 1, en el mismo se muestran las líneas de fuerza del CMT cursando desde el polo sur magnético (Sm), situado en el hemisferio sur, hasta el polo norte magnético (Nm), situado en el hemisferio norte. Además, dicho dibujo está acompañado de una serie de comentarios entre los que se puede leer lo siguiente: "... Físicamente, el campo magnético terrestre presenta mayor intensidad... en sus polos, con salida de las líneas del campo por el polo sur magnético y entrada por el polo norte magnético, ... y que sitúa en la actualidad el polo norte magnético en latitudes correspondientes a Groenlandia ...".

Tal descripción del CMT entró en conflicto con el esquema mental que poseía acerca del asunto ya que, creía saber que en el exterior de un imán o de una magneto las líneas de fuerza circulaban desde el Nm hasta el Sm. ¿Cómo era posible que el CMT se comportara al contrario? ¿Era la Tierra un cuerpo magnético diferente del resto de los cuerpos magné-

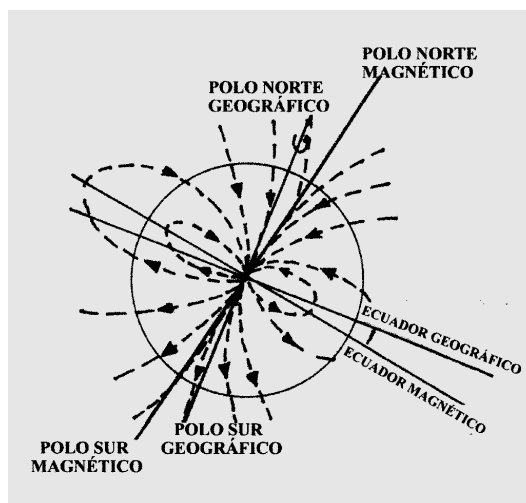


Figura 1

ticos conocidos? ¿Eran erróneos mis esquemas mentales referentes al asunto?

En lugar de limitarme a observar pasivamente la contradicción mencionada me decidí a investigar el asunto y me planteé una serie de interrogantes. ¿Dónde está situado el Nm en la actualidad en el hemisferio sur o en el norte? ¿Se comporta la Tierra

(*) IES "Marqués de Comares", 14900-Lucena (Córdoba).

como un imán o como una magneto? ¿El CMT, cuándo está normal y cuándo invertido? ¿Cómo habría que dibujar el esquema del CMT para que éste fuese correcto? ¿Los libros de texto tratan de forma adecuada los conocimientos relativos al CMT? Había otra cuestión todavía más atractiva de investigar: ¿Qué ideas tienen los profesores y los alumnos sobre cuestiones tales como la polaridad, la naturaleza y las inversiones del CMT?

Ahora que escribo el presente artículo, a sugerencia del editor de la revista de la AEPECT, como recapitulación de toda la labor desarrollada para responder a las anteriores preguntas, advierto que el trabajo se ha desarrollado naturalmente en dos fases sucesivas: primero realizar una revisión bibliográfica de libros de texto de diferentes niveles con el fin de conocer qué tratamiento daban los libros de texto a los distintos aspectos del CMT; segundo, investigar las concepciones que profesores y alumnos poseían sobre el CMT.

RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. ¿Cuál es la polaridad actual del CMT?

Por convenio se considera como polo norte de una barra o aguja imantada aquel extremo que se orienta hacia el norte verdadero o norte geográfico (Ng) cuando a ésta se le permite girar libremente sobre un eje, y polo sur al extremo opuesto que se orienta hacia el polo sur geográfico (Sg) (Lasheras et al., 1977; Candell et al., 1987; Ruiz et al., 1987). Las agujas imantadas no señalan exactamente el Ng porque el polo magnético no se localiza en el mismo lugar que el polo geográfico, y esta no coincidencia viene dada en cada lugar y momento por el valor de la declinación magnética.

Lo cierto es que en el hemisferio norte del planeta a cierta distancia del norte verdadero lo que se sitúa es el Sm y precisamente por ello es el polo norte de la aguja imantada el que señala su posición (Candell et al., 1987; Otero et al., 1997; Catalá, 1975).

Con objeto de saber como responden los libros de texto a los interrogantes planteados se ha realizado una extensa revisión bibliográfica de libros de texto de Ciencias Naturales de primero y tercero del Bachillerato Unificado Polivalente (BUP), de Geología del Curso de Orientación Universitaria (COU), de Física y Química (Física y Química) de segundo de BUP, de Biología-Geología de cuarto de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y de Geología del nuevo bachillerato, editados durante los años setenta, ochenta y noventa. Además, se han revisado libros de texto de niveles superiores y artículos publicados en revistas como *Investigación y Ciencia*.

Los libros de texto de Física y Química de 2º de BUP consultados, que tratan el magnetismo terrestre, explican correctamente la polaridad del CMT, pero en algunos aparecen esquemas similares al dibujo de la figura 2 que entran en contradicción con lo explicado en el texto y que pueden inducir a confusión, cuando su misión es precisamente aclarar lo escrito.

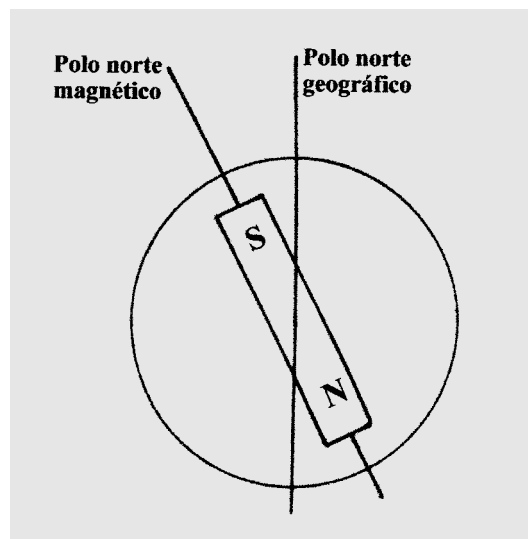


Figura 2

Los libros de Ciencias naturales de 1º de BUP que se han consultado no suelen tratar el tema del magnetismo terrestre y aquellos que sí lo hacen no se refieren a la polaridad.

De igual forma, no todos los libros de texto de Ciencias Naturales de 3º de BUP y de Geología de COU abordan el asunto de la polaridad del CMT, en aquellos que hablan del tema, y que han sido consultados, la cuestión aparece cuando menos confusa. Todos estos libros de texto sitúan el Nm en el hemisferio norte y lo hacen mediante explicaciones escritas, a través de dibujos tales como el dibujo de la figura 3, o bien, mediante ambas cosas. En ellos se observa de forma general que además de situar los polos magnéticos tal y como se acaba de explicar dibujan las líneas de fuerza del campo circulando desde el Sm hasta el Nm, lo cual induce a confusión. Ejemplo de esto último es el esquema que aparece en la página 22 de la Geología de COU de Vera et al. (1978).

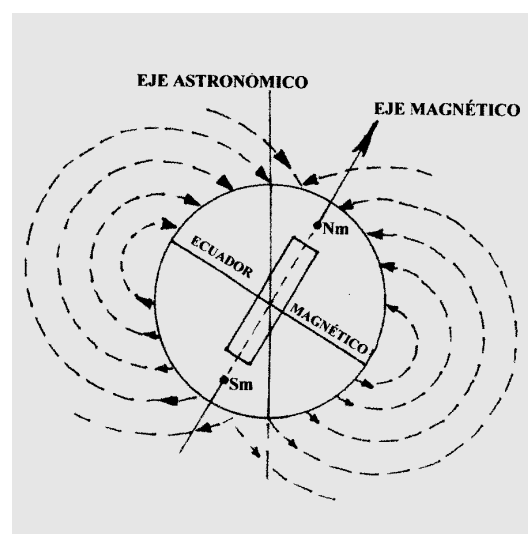


Figura 3

En libros de texto de 4º de ESO y de Geología del nuevo bachillerato la cuestión de la polaridad del CMT sigue estando confusa. Por ejemplo, en el libro "Geología" (Otero et al., 1997) se explica de manera adecuada la polaridad magnética de la Tierra en la página 62 pero, dos páginas después, en la 64, se hace un esquema en el que el Nm se sitúa en el hemisferio norte.

Las explicaciones confusas sobre la polaridad del CMT no se limitan a los libros de texto de secundaria, también se pueden encontrar en libros de niveles superiores algunos de los cuales han sido fuente de conocimientos para la redacción de los de enseñanza secundaria.

Así por ejemplo, en la edición de 1977 de la "Geografía Física" de Strahler (Strahler, 1977), en la página 53, aparece un esquema de la disposición del CMT similar al dibujo de la figura 1. Y la cosa no se queda ahí porque en la página 57 se puede leer textualmente "... el polo norte magnético. Este último se halla situado aproximadamente en los 70º de latitud N y 100º de longitud W, en las proximidades de la península de Boothia y de la isla príncipe de Gales, en los Territorios del Noroeste de Canadá ... El polo sur magnético se halla en la Antártida a unos 68º de latitud S y 143º de longitud E ...". En el índice de la edición de 1982 de esta misma obra la cuestión del CMT ni siquiera aparece. El autor anterior en su obra "Geología Física" (Strahler, 1987) vuelve a incluir, en la página 271, un esquema del CMT similar al dibujo de la figura 1.

La tendencia a colocar el Nm en el hemisferio norte y dibujar las líneas de fuerza yendo desde el hemisferio sur hasta el hemisferio norte no sólo se circunscribe a libros de texto de diferentes niveles, también la hemos observado en algunos artículos publicados en la revista Investigación y Ciencia. Por ejemplo, en el número correspondiente a Noviembre de 1983, en la página 136, se puede ver un esquema del CMT del tipo del dibujo de la figura 1 (Udías, 1983). Y en la página 27 se puede leer "... con las líneas de fuerza cursando del polo sur magnético al polo norte a modo de bucle..." (Jeanloz, 1983).

B. ¿Se comporta la Tierra cómo un imán o cómo una magneto?

El núcleo actúa como una magneto que mantiene y regenera el CMT, sin este mecanismo de dinamismo el CMT se agotaría en 10.000 años (Jeanloz, 1983) debido a las elevadas temperaturas del interior terrestre. La hipótesis de que el núcleo terrestre funciona como una magneto que genera el CMT de forma activa y continua se viene manteniendo desde que fue propuesta por los físicos Walter M. Elsasser, Edward C. Bullard y otros (Jeanloz, 1983) y en la actualidad es aceptada de manera general por la comunidad científica.

Pero, esta concepción sobre la naturaleza del CMT nace en 1945. Anteriormente estaba extendida la idea de que la Tierra se comportaba como un enorme imán. Las primeras investigaciones sobre el CMT datan de 1600 cuando William Gilbert publi-

có su famosa obra "De Magnete" (Bloxham & Gubbins, 1990), Gilbert fue el primero en manifestar que la Tierra era un imán (Asimov, 1987) y que debía encontrarse rodeada por un campo de magnético al que él denominó la *orbis virtutis*, la esfera de fuerza (Harré, 1986). La concepción de Gilbert sobre la naturaleza del CMT ha tenido un éxito enorme ya que, como veremos a continuación, aún se mantiene en los libros de texto de diferentes autores, niveles y ediciones.

En libros de Ciencias Naturales de 1º de BUP se puede leer que "*la Tierra se comporta como un gigantesco imán*" (Mulas et al., 1990).

En libros de texto de 3º de BUP de la misma asignatura persiste la idea, expresada en frases como las siguientes: "*El imán terrestre*"; "*el planeta Tierra es un gran imán*" (Mulas et al., 1990; Mulas et al., 1994); "... *se compara con el campo que podría generar una barra magnética colocada en el centro de la Tierra* ..." (Panadero et al., 1988; Panadero et al., 1995); "*se comporta como un gigantesco imán*" (García et al., 1995). También en libros de texto de Física y Química de 2º de BUP aparecen frases como: "*la Tierra actúa como un gigantesco imán*" (Candell et al., 1987). En libros de Geología de COU el tema del CMT, en general, se trata muy a la ligera y se pueden leer comentarios como el siguiente: "*la Tierra se comporta como un gigantesco imán*" (Chamón, 1989).

Sin embargo, en libros de Ciencias Naturales de 3º de BUP de 1977 (Panadero et al., 1977; Ayllón et al., 1977) se habla ya de la teoría de la magneto como posible origen del CMT. No obstante, describen el CMT en la forma similar al dibujo 1, utilizando esquemas cuyo origen podría ser la "Geografía Física" de Strahler.

Todavía en textos de Biología y Geología de 4º de ESO se dice que la Tierra genera el CMT "*de forma semejante a como lo hace una barra de imán o una bobina de metal por la que circula una corriente eléctrica*" (Berges et al., 1995); y en un libro de Geología del nuevo bachillerato se dice que el CMT "*se compara con el campo que podría generar un imán situado en el centro de la Tierra*" (Otero et al., 1997).

Strahler, en su obra "Geografía Física" dice que "*la Tierra puede considerarse como una simple barra imantada* ..." (Strahler, 1977). El mismo autor, en su "Geología Física" habla del magnetismo terrestre en un apartado bajo el título "*La Tierra como un imán*" (Strahler, 1987).

C. El estado "normal" y el estado "invertido" del CMT

El CMT una vez ha estado "normal", es decir, con la polaridad que tiene actualmente, y otras veces ha estado "invertido" (Heirtzler, 1968). Hoy día se ha convertido en un principio fundamental de la geofísica que el CMT puede tomar cualquiera de los dos estados de polaridad: el estado "normal", en el cual las agujas magnéticas que apuntan

al norte se dirigen hacia en Ng, y el estado “invertido”, en el cual están dirigidas hacia el Sg (Hoffman, 1988).

El primero que sugirió la inversión del CMT fue el físico francés Bernard Brunhes en el año 1906 (Hoffman, 1988), aunque cautelosamente restringió la inversión a la región donde había tomado las muestras. En 1929 Motonori Matuyama también encontró evidencias de que el CMT se había invertido pero también restringió sus conclusiones al área del Japón, donde había recolectado las muestras (Cox et al., 1967). La posible inversión del CMT fue objeto de acalorados debates durante más de 50 años pero la mayor parte de la comunidad científica no aceptó la idea de la inversión hasta principios de la década de 1960, a raíz de los trabajos de Van Zijl et al. en lavas sudafricanas (Hoffman, 1988).

En los esquemas de las figuras 4 y 5 se representa respectivamente la polaridad del CMT durante su estado “normal” (como está hoy en día), los polos magnéticos y geográficos de distinto nombre están en el mismo hemisferio (Ng con Sm y Sg con Nm); y durante su estado “invertido”, los polos

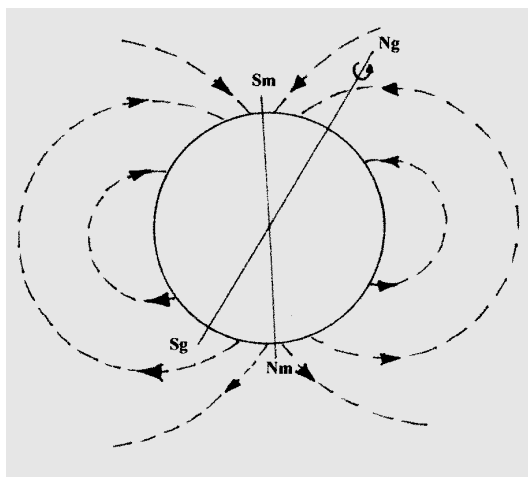


Figura 4. Polaridad del CMT durante su estado “normal”.

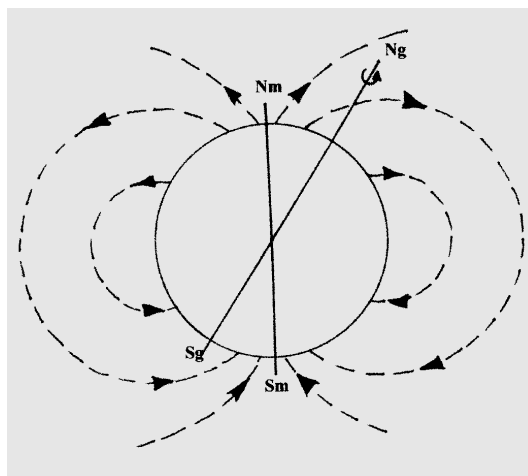


Figura 5. Polaridad del CMT durante su estado “invertido”.

magnéticos y geográficos del mismo nombre están en el mismo hemisferio (Ng con Nm y Sg con Sm).

En los libros de texto de Ciencias Naturales de 3º de BUP el asunto de las inversiones del CMT aparece tratado de manera confusa e incluso errónea. Veamos algunos ejemplos.

Pueden leerse comentarios como este: “*El fenómeno puede ser tal que el polo norte magnético llegue a estar próximo al polo sur geográfico. Este tipo de cambios, denominados reversiones, ...*” (Ayllón et al., 1977); los autores parecen dar a entender que el CMT se encuentra invertido cuando el Nm se sitúa en el hemisferio sur, es decir, cuando la polaridad es la actual, que es, por definición, el estado “normal” del campo; claro está que en la página anterior los autores afirman que el Nm se localiza en la actualidad en el hemisferio norte, por lo que parecen entender que el campo está “normal” cuando coinciden en un mismo hemisferio los polos magnéticos y geográficos de igual nombre. O como este: “*El último supuesto del geomagnetismo es que los polos magnéticos y geográficos coinciden. El polo norte magnético puede coincidir con el polo sur geográfico por una reversión magnética ...*” (Panadero et al., 1977); esto es, los autores también parecen entender que el CMT se encuentra en el estado “invertido” cuando los polos, magnéticos y geográficos, de distinto nombre coinciden en un mismo hemisferio o lo que es lo mismo cuando se sitúan en posiciones opuestas. Dicha situación es la actual que se ha definido como “normal”.

No es raro que se diga que el CMT está invertido cuando “*el polo norte magnético pasa a ser el polo sur*” lo cual no deja de ser cierto pero, no explican que se entiende por estado “normal” o “invertido” (Mulas et al., 1990; Mulas et al., 1994). Se pueden encontrar definiciones de inversión tales como: “*En una inversión, el polo norte magnético deja de apuntar hacia el norte geográfico para mirar al sur ...*” (Panadero et al., 1988; Panadero et al., 1995; García et al., 1995).

Los libros de Geología de COU consultados apenas se ocupan del tema y cuando lo hacen es de forma superficial y realmente no explican nada sobre la inversión del CMT, a pesar de que su conocimiento es importante en el estudio de Tectónica de Placas.

El libro “Geología” del nuevo bachillerato (Otero et al., 1997) dedica tres páginas al estudio del CMT pero, después de leerlas, uno se queda con la gana de saber qué es exactamente una inversión magnética y qué diferencia hay entre estado “normal” y estado “invertido”.

Strahler en su “Geología Física” (Strahler, 1987) define la polaridad “normal” como la que es igual a la actual y la “invertida” como la opuesta a la actual. Sin embargo, en la página 271, incluye un esquema que sitúa el Nm en el hemisferio norte y todo hace pensar que el esquema representa la disposición del CMT hoy día. Es decir, el autor parece entender que la polaridad “normal” existe cuando los polos de igual nombre se sitúan en el mismo hemisferio. Algo parecido se observa en Fernández et al. (1995)

CONCEPCIONES DE LOS ALUMNOS Y PROFESORES SOBRE EL CMT

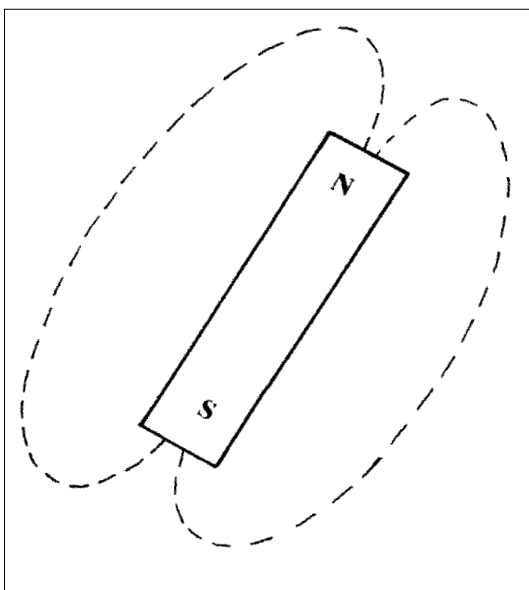
Para investigar las concepciones de los alumnos sobre cuestiones relacionadas con el CMT y cómo evolucionan éstas con el tiempo se encuestaron un total de 81 alumnos de COU de ciencias, que habían estudiado el magnetismo en la asignatura de Física y Química durante el segundo curso de BUP, en tres Institutos de Enseñanza Secundaria (IES) de la provincia de Córdoba. Las encuestas se realizaron al comienzo del curso 97-98 y a los alumnos se les dio libertad para responder a las preguntas que se planteaban. También se pasaron encuestas a alumnos de primer curso de la licenciatura de Biológicas de la Universidad de Córdoba, una parte de los cuales había cursado Física (113 alumnos) el año anterior en COU mientras que otra parte había estudiado Geología (64 alumnos). Se encuestaron un total de 177 alumnos universitarios.

Para estudiar las concepciones de los profesores sobre el CMT se realizaron encuestas a 31 profesores de las asignaturas de Física y Química y a 36 de Biología-Geología (Biología y Geología) de siete centros de enseñanza media, seis de la provincia de Córdoba y uno de la provincia de Huelva. La procedencia y formación de los profesores era diversa habiendo cursado su licenciatura en diferentes universidades; entre los profesores de Física y Química los había licenciados en Física y licenciados en Química, y entre los profesores de Biología y Geología los había biólogos y geólogos con predominio de los primeros. Se encuestaron un total de 67 profesores.

Las encuestas, que fueron idénticas para alumnos y profesores, constaban de las siguientes preguntas:

- 1) *Dibuja mediante flechas el sentido en el que circulan las líneas de fuerza del siguiente imán.*

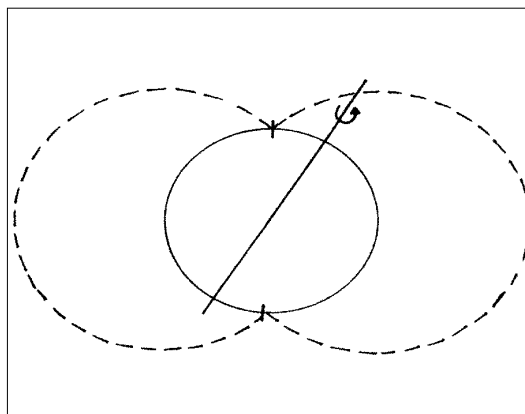
(Esta pregunta iba acompañada del siguiente dibujo).



- 2) *En el siguiente dibujo se representa el eje de rotación de la Tierra y las líneas de fuerza del campo magnético terrestre. Situar sucesivamente lo siguiente:*

- a) *Los polos geográficos (llámalos Ng y Sg).*
- b) *Los polos magnéticos (llámalos Nm y Sm).*
- c) *El sentido en el que circulan las líneas de fuerza del campo.*

(La pregunta iba acompañada del siguiente dibujo).



- 3) *¿Podrías explicar qué es una inversión magnética?*
- 4) *¿Cómo está el campo magnético terrestre en la actualidad?*

☐ Normal

☐ Invertido

Con la realización de las encuestas se pretendía conocer qué ideas tenían alumnos y profesores sobre cuestiones tales como la polaridad del CMT, la dirección en la que circulan las líneas de fuerza del CMT y las inversiones magnéticas. En los alumnos se pretendía investigar como variaban esas ideas desde el bachillerato hasta la universidad a través del COU, y en los profesores interesaba saber qué diferencias existían entre las concepciones de los profesores de Física y Química y los profesores de Biología y Geología porque ambos, a pesar de haber recibido diferente formación, debían enseñar parcelas de conocimiento comunes. Ambos grupos de profesores, unos en 2º de BUP y otros en COU, deberían explicar cuestiones referentes al CMT y la pregunta era ¿Encontrarían los alumnos contradicciones entre lo explicado por uno y otro grupo de profesores?.

RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS A PROFESORES Y ALUMNOS

A. Primera pregunta

Dibujar el sentido de las líneas de fuerza de un imán.

La respuesta se consideró correcta cuando se dibujaron las líneas del campo saliendo del Nm y entrando por el Sm e incorrecta cualquier otra forma de representarlas.

Tabla I

	Correcta	Incorrecta	No contesta
Alumnos de COU	18,52%	44,44%	37,03%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	43,75%	51,56%	4,68%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	67,25%	30,97%	1,76%
Prof. Física y Química y Biología-Geología	79,10%	17,91%	1,49%

B. Segunda pregunta

B.1. Situar los polos geográficos

Tabla II

	Correcta	Incorrecta	No contesta
Alumnos de COU	71,60%	0%	28,39%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	96,87%	0%	3,12%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	97,34%	1,76%	0,88%
Prof. Física y Química y Biología-Geología	100%	0%	0%

B.2. Situar los polos magnéticos

La respuesta es correcta cuando sitúan los polos de distinto nombre en un mismo hemisferio (N_m con S_g y S_m con N_g). La respuesta es incorrecta cuando sitúan los polos magnéticos y geográficos del mismo nombre en un mismo hemisferio (N_m con N_g y S_m con S_g).

Tabla III

	Correcta	Incorrecta	No contesta
Alumnos de COU	14,81%	33,33%	51,85%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	17,18%	79,68%	3,12%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	42,47%	55,75%	1,76%
Prof. Física y Química	77,42%	22,58%	0%
Prof. Biología y Geología	5,56%	94,44%	0%

B.3. Dibujar el sentido de las líneas de fuerza del CMT

Consideramos la respuesta correcta cuando el dibujo es similar al esquema de la fig. 4 e incorrecta cuando la respuesta es diferente a la anterior.

Tabla IV

	Correcta	Incorrecta	No contesta
Alumnos de COU	0%	39,5%	60,49%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	9,37%	71,87%	18,75%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	24,78%	66,37%	8,85%
Prof. Física y Química	70,97%	22,58%	6,45%
Prof. Biología y Geología	2,78%	88,89%	8,33%

Tabla V

Aplican a la Tierra el esquema que conocen del imán	
Alumnos de COU	93,75%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	80,76%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	86,40%
Prof. de Física y Química	89,66%
Prof. de Biología y Geología	92,31%

C. Tercera pregunta.

¿Qué es una inversión del CMT?

Ningún encuestado definió con exactitud lo que es una inversión del CMT. Por lo que se considera respuesta correcta a esta pregunta decir que una inversión es un cambio de polaridad del CMT e incorrecta todas aquellas respuestas que no hacen referencia al cambio de polaridad.

Tabla VI

	Cambio de polaridad	Incorrecta	No contesta
Alumnos de COU	19,75%	14,81%	65,43%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	165,62%	5,65%	21,87%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	35,39%	19,47%	45,13%
Prof. de Física y Química	78,26%	0%	21,74%
Prof. de Biología y Geología	92,31%	3,85%	3,85%

Como se observa en la Tabla VII, existe una cierta tendencia entre los alumnos y entre los profesores de B&G a pensar que el CMT se encuentra invertido cuando el Nm se localiza en el hemisferio sur; tendencia que, como se ha visto, también se observa en los libros de texto.

Tabla VII

Contestan “Cambio de polaridad” y dicen que “inversión” es que el Nm se sitúa en el hemisferio sur	
Alumnos de COU	43,75%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	30,95%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	35%
Prof. de Física y Química	0%
Prof. de Biología y Geología	16,67%

D. Cuarta pregunta

¿Cuál es el estado del CMT en la actualidad?

Tabla VIII

	Normal	Invertido	No contesta
Alumnos de COU	25,92%	19,75%	54,32%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	46,87%	29,68%	23,43%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	33,63%	26,55%	39,82%
Prof. de Física y Química	21,74%	39,13%	39,13%
Prof. de Biología y Geología	76,92%	7,69%	15,38%

Es interesante relacionar los resultados de la Tabla VIII con los de la Tabla IX.

Tabla IX

	Responde “Normal” y dibuja Nm y Ng en el mismo hemisferio	Responde “invertido” y dibuja Nm en el hemisferio sur
Alumnos de COU	61,90%	50%
Alumnos 1º Biológicas (Geología en COU)	96,66%	47,36%
Alumnos 1º Biológicas (Física en COU)	84,21%	86,66%
Prof. de Física y Química	80%	100%
Prof. de Biología y Geología	85%	50%

COMENTARIOS FINALES

A. Sobre la polaridad del CMT.

Según Sierra (1996) las cualidades que debe reunir la redacción científica son claridad, sencillez, precisión, sinceridad, originalidad, viveza, rigor y sistematización. Todas ellas son de obligado cumplimiento a la hora de redactar los diferentes bloques temáticos de que puede constar cualquier libro de texto y cuesta trabajo ordenarlas según su importancia. En realidad, raro es el libro de texto que en todas sus partes reúne todas y cada una de las anteriores cualidades y en ocasiones los autores hacen prevalecer originalidad y viveza sobre cualidades que parecen más básicas como son claridad, sencillez, precisión y sistematización.

El tratamiento que los libros de texto dan a cuestiones tales como las inversiones, la polaridad y la naturaleza del CMT adolecen de falta de algunas de las cualidades mencionadas. En cuanto a la polaridad del CMT hemos visto como, en los libros de Ciencias Naturales y Geología de enseñanza media y de niveles superiores, el tratamiento es confuso, poco preciso por ejemplo: Chamón (1989), en su libro “Geología”, incluye un esquema de la Tierra en el que figuran indicados los polos Ng y Sg mientras que los polos magnéticos se señalan de manera ambigua diciendo “polos magnéticos”, pero sin señalar cual es el Sm y cual el Nm.

A veces, los esquemas que acompañan las explicaciones escritas contradicen lo explicado en las mismas, un ejemplo lo tenemos en el libro “Geología” de Otero et al. (1997), haciendo el texto menos legible y comprensible, es decir, restándole coherencia (Izquierdo y Rivera, 1997). Esta investigación ha puesto de manifiesto que es posible que las ilustraciones de los libros de texto contengan errores que, como indica Jiménez et al. (1997), son uno de los problemas que se plantean en la relación entre una ilustración y su correspondiente texto, ya que en muchas ocasiones lo escrito y la imagen se hacen múltiples referencias mutuas.

Después de repasar la bibliografía se ha llegado a la conclusión de que parece existir un convenio, al

parecer no escrito, según el cual se considera Nm de la Tierra aquel hacia donde se orienta el polo norte de la aguja imantada. Además, en las encuestas realizadas se observa que está muy extendida la idea de que, hoy día, el Nm de la Tierra se localiza en el hemisferio norte, cercano al Ng.

Nadie puede explicar con claridad y precisión lo que no conoce con exactitud y por los resultados que han quedado expuestos es evidente que hay autores, algunos de reconocidos méritos y prestigio, que piensan que la polaridad magnética actual de la Tierra es la contraria de la auténtica. A veces los errores se corrigen de una edición a otra (Mulas et al., 1990; Mulas et al., 1994). Pero, según parece lo normal es que los errores no se corrijan y que persistan.

Los libros de texto contienen incorrecciones e imprecisiones que no pueden ser detectadas por los alumnos y que los conducen a un conocimiento inexacto de la realidad. También ha quedado puesto en evidencia mediante las encuestas realizadas que tales incorrecciones son difícilmente detectables por los propios profesores. Parece que los profesores tendemos a considerar los conocimientos que nos ofrecen los libros como algo acabado, bíblico, auténtico, sin discusión y que los autores están absolutamente impuestos en todos los temas que presentan los libros. Las investigaciones realizadas han demostrado que esto no es así y que los profesores debemos abordar los libros con espíritu crítico, contrastar lo que se explica en ellos con las ideas que poseemos, estar seguros de nuestras propias concepciones y nunca pasar por alto aquellas ideas que entren en conflicto con los esquemas personales porque los libros no son infalibles.

Existe cierto paralelismo entre las ideas de los alumnos y profesores por un lado y de los libros de texto por otro sobre aspectos tales como polaridad del CMT.

En la tabla III se puede observar como el porcentaje de respuestas correctas es claramente mayor entre los alumnos de 1º de Biológicas que cursaron Física en COU, lo cual puede ser interpretado como muestra de la influencia que los profesores de Física y Química han ejercido sobre sus alumnos; ya que hay una

notable diferencia entre los esquemas mentales que poseen los profesores de Física y Química y los de Biología y Geología sobre la polaridad magnética actual de la Tierra (Tabla III), lo cual se puede atribuir a la diferente formación que han recibido, ya que los primeros proceden de licenciaturas como Física o Química, y los segundos de Biológicas o Geológicas. Estos últimos, en su mayoría, no estudiaron los aspectos del magnetismo terrestre durante la carrera, sino que lo hicieron después, usando entre otros los libros de texto que se mencionan aquí.

Es interesante destacar que un elevado porcentaje (Tabla V) de alumnos y profesores a la hora de dibujar el sentido de las líneas de fuerza del CMT aplican a la Tierra el esquema, correcto o incorrecto, que conocen del imán, mostrando un alto nivel de consistencia (Pintó et al., 1996) en la utilización de las concepciones que poseen sobre estos aspectos del campo magnético. Es razonable pensar que, en aquellos alumnos y profesores que sabiendo que las líneas de fuerza en el exterior de un imán circulan de Nm a Sm, se generen contradicciones cuando lean en libros de texto que las líneas de fuerza circulan de Sm a Nm o cuando vean esquemas incorrectos, como el que aparece en la página 22 del libro "Geología" de Vera et al. (1981), o cuando oigan a profesores de Geología explicar la misma cosa de forma diferente a como la escucharon en la asignatura de Física y Química.

Aunque en el caso que tratamos es evidente que no existe, parece razonable que haya coordinación entre profesores de diferentes asignaturas a la hora de explicar una misma parcela de conocimiento, con el fin de que los alumnos reciban información correcta y coherente sobre un mismo objeto de estudio.

B. Sobre la naturaleza del CMT.

La concepción sobre la naturaleza del CMT lanzada por William Gilbert en 1600, según la cual la Tierra es un imán, ha sido una de las ideas más exitosas de toda la historia de la Ciencia a juzgar por el gran lapso de tiempo durante el cual se ha mantenido vigente, sólo pocos años antes de la mitad del siglo XX entró en competición con la idea propuesta por Elsasser y otros, aceptada actualmente, de que la Tierra se comporta como una magneto. Sin embargo, en los libros de texto la idea de que la Tierra es un imán demuestra tener una persistencia notable y todavía se encuentra presente en libros editados en 1997. La persistencia de esta concepción sobre la Tierra recuerda como se resistió a salir de los libros de texto el famoso valor medio ($3,3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) del gradiente geotérmico. También recuerda el paralelismo entre la evolución de las ideas de las personas y las teorías que han estado vigentes en algunos momentos de la historia de la Ciencia (Pedrinaci, 1987; Granda, 1988; Manuel, 1996; Pintó et al., 1996; Pedrinaci, 1997).

Cuando se redacta un libro de texto hay que ser honesto, crítico y cauto a la hora de introducir datos e ideas porque, a la vista está que si tienen éxito y son reproducidas por otros autores, los errores se pueden perpetuar por largo tiempo y proporcionar conoci-

mientos deformados a profesores y a varias generaciones de alumnos.

Por otra parte, al referirse a la naturaleza magnética de la Tierra los libros deberían emplear frases como las siguientes: "*el planeta se comporta como una enorme electroimán*", "*la Tierra es una gigantesca magneto*", "*la Tierra como una dinamo*" u otras del mismo estilo que describen más acertadamente la naturaleza magnética del planeta. Además, cuando se presentan esquemas sobre la disposición del CMT en lugar de dibujar la Tierra atravesada por una barra rectangular, que recuerda la idea del imán, sería más correcto representarla traspasada por un conjunto de espiras o electroimán.

C. Sobre las inversiones del CMT.

El concepto de inversión tampoco está claro en los libros de texto. En ellos se viene a decir que una inversión consiste en que se intercambia el Nm con el Sm lo cual no es decir mucho porque no se explica previamente y con claridad que es el estado "normal" y el estado "invertido". En los libros de enseñanza media y de niveles superiores se observa una tendencia a pensar que el campo se encuentra "normal" cuando los polos de igual nombre (Nm-Ng y Sm-Sg) coinciden en un mismo hemisferio y además que eso ocurre en la actualidad. Igualmente, los libros tienden a considerar que el estado "invertido" es aquel en el que los polos de distinto nombre (Nm-Sg y Sm-Ng) se localizan en un mismo hemisferio.

Tanto entre profesores como entre alumnos se reproduce lo observado en los libros, se observa que existe una fuerte tendencia a pensar que el CMT está "normal" cuando los polos del mismo nombre coinciden en un mismo hemisferio e "invertido" cuando sucede lo opuesto (Tabla IX). La proporción de alumnos que dibujan los polos de igual nombre en un mismo hemisferio aumenta desde COU hasta 1º de Biológicas y es más alto entre aquellos alumnos que cursaron Geología en COU. Estos resultados parecen ser un reflejo de las ideas que los profesores de Biología y Geología tienen al respecto, un 94,44% de los cuales dibuja Nm coincidiendo con Ng en el mismo hemisferio, y ponen de manifiesto que las representaciones mentales de los profesores influyen sobre las de los alumnos (Mellado, 1996). También ponen de manifiesto la estabilidad en el tiempo, la persistencia, de las ideas alternativas de los alumnos (Mateos, 1993; Pintó et al., 1996).

En atención a estos resultados, siguiendo a Panadero et al. (1977) y a Ayllón et al. (1977), y en consecuencia con la opinión expuesta en un trabajo previo (García-Montoya & Pedrajas, 1998) me parece más apropiado que los profesores, a la hora de explicar las cuestiones relativas a la inversión del CMT, empleen la palabra "reversión" porque carece de la connotación semántica que posee la palabra "inversión" la cual induce a pensar que el estado invertido consiste en que los polos magnéticos y geográficos del mismo nombre se oponen, cuando realmente es lo que sucede en la actualidad que es lo que ha quedado definido como estado "normal" del CMT (Heirtzler, 1968).

BIBLIOGRAFÍA

- Asimov, I. (1987). *Enciclopedia bibliográfica de ciencia y tecnología I*. Alianza Editorial, 113-114.
- Ayllón, R., González, C. (1977). *Ciencias Naturales 3º BUP*. Didascalia, 59-61.
- Berges, T., Carrión, F., Gil, C., Martínez, J. (1995). *Biología y Geología (4º ESO)*. Anaya, 11.
- Bloxham, J., Gubbins, D. (1990). La evolución del campo magnético terrestre. *Investigación y Ciencia*, Febrero, 18-25.
- Candell, A., Soler, J. B., Satoca, J., Tent, J. J. (1987). *Física y Química 2º BUP*. Anaya, 201.
- Catalá, J. (1975). *Física general*. Saber, 535-536.
- Chamón, C. (1989). *Geología*. SM, 37-38.
- Cox, A., Dalrymple, G. B., Doell, R. R. (1967). Reversal of the Earth's Magnetic Field. *Scientific American*, Febrero, 44-54.
- Fernández, M. A., Mingo, B., Rodríguez, R., Torres, M. (1995). *Ciencias Naturales Gaia-3*. Vicens-Vives, 7-8.
- García, M., Furió, J., García-Amorena, L., Sendra, R. (1995). *Ciencias Naturales 3º BUP*. Ecir, 15-16.
- García-Montoya, F., Pedrajas Rodríguez, C. (1998). Revisión sobre el tratamiento del campo magnético terrestre en libros de texto. Implicaciones didácticas. *X Simposio sobre Enseñanza de la Geología (Documentos)*, 89-94.
- Granda Vera, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 239-243.
- Harré, R. (1986). *Grandes experimentos científicos*. Labor, 43-50.
- Heirtzler, J.R. (1968). La expansión del fondo oceánico. *Investigación y Ciencia*, Diciembre, 76-87.
- Hoffman, K. A. (1988). Inversiones magnéticas y dinamo terrestre. *Investigación y Ciencia*, Julio, 40-47.
- Izquierdo, M., Rivera, L. (1997). La estructura y la comprensión de los textos de ciencias. *Alambique*, nº 11, 24-32.
- Jeanloz, R. (1983). El núcleo terrestre. *Investigación y Ciencia*, Noviembre, 27-36.
- Jiménez, J. D., Hoces Prieto, R., Perales, F. J. (1997). Análisis de los modelos y los grafismos utilizados en los libros de texto. *Alambique*, nº 11, 75-85.
- Lasheras, A., Carretero, m^a. P. (1977). *Física y Química "Positrón" 2º BUP*. Vicens-Vives, 181-182.
- Manuel, J. de (1996). ¿Por qué hay fósiles marinos en las montañas?. Algunas concepciones sobre el ciclo y el tiempo geológico. *Alambique*, nº 8, 115-123.
- Mateos Jiménez, A. (1993). Ideas previas en la botánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 130-136.
- Mellado Jiménez, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 289-302.
- Mulas, J., Morillo-Valverde, M^a. (1983). *Geología*. Santillana, 37-38.
- Mulas, J., Morillo-Valverde, M^a., Jimeno, A., Ballesteros, M., Pardo, A., Ugedo, L. (1990). *Ciencias Naturales 1º BUP*. Santillana, 31.
- Mulas, J., Morillo-Valverde, M^a. J., Jimeno, A., Ballesteros, M., Pardo, A., Ugedo, L. (1994). *Ciencias Naturales de 3º BUP*. Santillana, 42 y 47-48.
- Otero, M^a. A., Piridal, A. J., Fraile, M^a. J., Centeno, J. de J., Senderos, A. S. (1997). *Geología Bachillerato*. Laberinto, 62-64.
- Panadero, E., Cerdán, D., Martín, R. M. (1977). *Ciencias Nivel III 3º BUP*. Bruño, 41-43.
- Panadero, E., García, P., Hernández, C., Onetti, E. (1988). *Zoe 3 Ciencias Naturales*. Bruño, 10.
- Panadero, E., García, P., Hernández, C., Onetti, E. (1995). *Bios 3. Ciencias de la Naturaleza*. Bruño, 12.
- Pedrinaci Rodríguez, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investigación en la escuela*, nº 2, 65-73.
- Pedrinaci Rodríguez, E. (1997). Enseñanza de las ciencias: aportaciones de la historia de las Ciencias. *Actas de las I Jornadas de intercambio de experiencias educativas en Biología, Geología y Educación Ambiental*, 9-24.
- Pintó, R., Aliberas, J., Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 221-232.
- Ruiz, A., Miralles, L., Fernández, M. R., Cotanda, V. (1987). *Física y Química 2º BUP*. Ecir, 291.
- Sierra, R. (1996). *Tesis doctorales y trabajos de investigación científica*. Paraninfo, 397.
- Strahler, A. (1977). *Geografía Física*. Omega, 53-58.
- Strahler A. (1987). *Geología Física*. Omega, 270-277.
- Udías, A. (1983). Energía de la Tierra. *Investigación y Ciencia*, Noviembre, 128-138.
- Vera, J.A., Gallegos, J.A., Roca, A. (1981). *Geología*. Edelvives. 22. Zaragoza. ■