

## ¿EL POLO NORTE GEOGRÁFICO TERRESTRE ES UN POLO NORTE MAGNÉTICO O UN POLO SUR?

Xavier Bohigas

Dept. Física i Enginyeria Nuclear

Universitat Politècnica de Catalunya

[Recibido en Agosto de 2007, aceptado en Noviembre de 2007]

### RESUMEN([Inglés](#))

Presentamos una actividad alternativa a una práctica de laboratorio habitual en la enseñanza universitaria. Su intención es acercar a los estudiantes a la metodología científica mediante el planteamiento de preguntas relevantes.

**Palabras claves:** Recursos didácticos; Física; investigación escolar; actividad de laboratorio.

### INTRODUCCIÓN

Existe un cierto acuerdo entre el profesorado respecto a la conveniencia de iniciar a los estudiantes en la investigación científica de fenómenos físicos como acercamiento a la metodología científica. En los últimos años se han llevado a cabo varios proyectos educativos centrados en la actividad investigadora de los estudiantes en el aula, si bien actualmente es un enfoque no exento de discusión (Cañal, 2007).

Pienso que se puede alcanzar el conocimiento científico a través de una metodología que intente dar respuesta a los problemas que se nos plantean. Esta metodología consiste en formular hipótesis y contrastándolas con los datos experimentales. Esquema que se acerca más a la actividad habitual del científico. Se han sugerido diversos modelos metodológicos para realizar una investigación escolar, la mayoría de ellos dan una gran importancia a la contextualización del problema planteado y al planteamiento de preguntas relevantes para los estudiantes (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez-Torregrosa, 1991).

Una opinión bastante generalizada entre el profesorado es que los estudiantes se aburren en prácticas y aprenden poco. La crítica se basa en que, en la mayoría de los casos, la actividad de los estudiantes se reduce a seguir un guión y tomar medidas. Si planteamos actividades experimentales de este tipo, la crítica parece razonable. Por tanto, si queremos hacer las prácticas más atractivas (para aumentar la motivación de los estudiantes) y fomentar un aprendizaje significativo debemos cambiar el enfoque de las actividades de laboratorio.

En este artículo presentamos una variante de una práctica (determinación de la componente horizontal del campo magnético terrestre), bastante habitual en las clases prácticas de física. Normalmente los estudiantes han de seguir un guión detallado de las acciones y determinaciones que deben realizar para obtener el resultado pedido. Es una actividad experimental de comprobación, pues sabemos de antemano cual es el resultado pedido. El profesorado suele tener mucho cuidado en la elaboración del guión para asegurar que, si el estudiante lo sigue, obtenga el resultado esperado. Si no introducimos ningún otro elemento, la actividad se reduce a una mera toma de datos y un cálculo. Actividad, por tanto, muy alejada de la investigación.

Con un pequeño cambio de planteamiento esta actividad experimental puede resultar bastante más atrayente para los estudiantes y, además, les estimulará en su aprendizaje. Se trata de, además de determinar el campo magnético terrestre, utilizar el mismo montaje experimental para responder a la pregunta: ¿el polo norte geográfico corresponde al polo norte magnético de la Tierra o a un polo sur? De esta manera, los estudiantes deberán analizar el problema planteado, diseñar una estrategia de resolución, encontrar la respuesta a la pregunta y comprobar si es correcta. Actividad muy cercana al modelo de investigación científica. Con este pequeño cambio, la realización de la práctica se convierte en una actividad en la que el estudiante debe tomar decisiones, en lugar de seguir un guión detallado.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Diseño experimental

El fundamento teórico de la determinación de la componente horizontal del campo magnético terrestre, en el lugar donde se realiza el experimento, es el siguiente.

Se sabe que un imán situado en el interior de un campo magnético uniforme sufre un momento mecánico de valor

$$\vec{\Gamma} = \vec{m} \times \vec{B} \quad (1)$$

donde  $\vec{m}$  es el momento magnético del imán y  $\vec{B}$  es el campo magnético (Lorrain y Corson, 1990). Así, el campo magnético produce un giro del imán y éste oscilará alrededor de su posición de equilibrio, que corresponde a la posición en la que el momento magnético del imán y el campo magnético son paralelos, pues el momento mecánico, dado por la ecuación (1) es nulo en esta posición. El sistema es equivalente, desde el punto de vista físico, al de la oscilación de un péndulo producida por su propio peso (o, si se prefiere seguir el símil adaptado al campo magnético que nos ocupa, producida por la interacción entre el campo gravitatorio y la masa del péndulo) y, por lo que hace a su geometría, parecido a un péndulo de torsión.

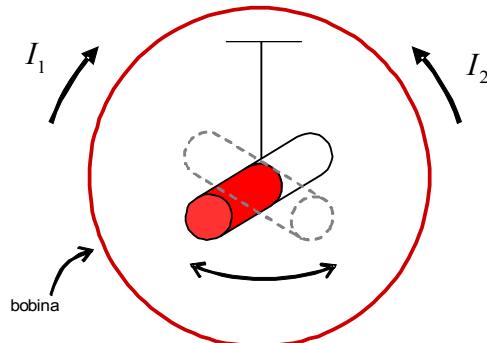
Se puede demostrar que el periodo de oscilación de un imán en el interior de un campo magnético uniforme vale:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mB}} \quad (2)$$

donde  $J$  es el momento de inercia del imán. Expresión análoga a la del periodo de oscilación de un péndulo de torsión.

Para determinar la componente horizontal del campo magnético terrestre podemos utilizar este resultado. Situamos un imán en forma de barrita en el interior de una bobina. Para ello, podemos colgar el imán de un hilo en el interior de la bobina. Cuando no circule corriente por la bobina, el imán se orientará en la dirección norte-sur magnético (actúa como una brújula). Orientamos la bobina de manera que su eje tenga la misma dirección que el eje del imán.

Cuando hacemos pasar corriente por la bobina, el imán estará bajo la acción de dos campos magnéticos paralelos: el campo creado por la bobina y el campo magnético terrestre. En estas condiciones desplazamos el imán de su posición de equilibrio, girándolo un ángulo pequeño en su plano horizontal (véase la figura 1). De esta manera aparecerá un momento mecánico que hará oscilar el imán en un plano horizontal con un periodo dado por la ecuación (2). Si conocemos el momento magnético y el momento de inercia del imán podríamos determinar el módulo del campo magnético total. Y calculando el campo magnético producido por la bobina, podremos saber el campo magnético terrestre. El momento de inercia es fácil de saber si la geometría del imán es sencilla, pero determinar su momento magnético puede ser difícil. Pero podemos determinar el periodo de oscilación del imán sin necesidad de calcular su momento magnético; para ello, simplemente, hemos de realizar el mismo experimento para dos valores de  $B$ .



**Figura 1.-** Vista frontal de las oscilaciones de un imán suspendido de un hilo vertical en el interior de una bobina cilíndrica.

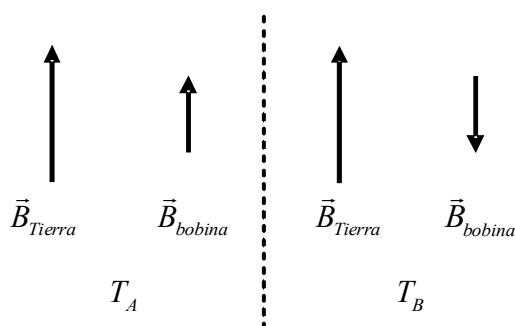
Medimos el periodo de oscilación del péndulo cuando el campo magnético de la bobina es paralelo al campo magnético terrestre y hacemos una segunda determinación cuando ambos campos son antiparalelos. Esto lo podemos conseguir invirtiendo las conexiones de la alimentación de la bobina. En la figura 2 podemos ver las dos configuraciones que comentamos.

De esta manera tendremos dos periodos de oscilación, uno para cada configuración:

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mB_A}} \quad \text{y} \quad T_B = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mB_B}} \quad (3)$$

Donde  $B_A = |B_{Tierra} + B_{bobina}|$  y  $B_B = |B_{Tierra} - B_{bobina}|$ , corresponden, respectivamente, a los campos magnéticos que actúan sobre el imán en las dos situaciones experimentales comentadas. De las ecuaciones (3) queda claro que el período de oscilación del imán será mayor cuando los sentidos de los dos campos magnéticos sean opuestos.  $T_A < T_B$  ya que  $B_A > B_B$ . Operando adecuadamente, de las ecuaciones (3) podemos obtener el valor de la componente horizontal del campo magnético terrestre:

$$B_{Tierra} = B_{bobina} \frac{T_B^2 + T_A^2}{T_B^2 - T_A^2} \quad (4)$$



**Figura 2.-** Configuraciones posibles del campo magnético terrestre y el producido por una pequeña bobina cuando ambos actúan sobre el imán.

Expresión que no depende ni del momento de inercia ni del momento magnético del imán. Así pues, determinando el tiempo que tarda el imán en realizar una oscilación en las dos situaciones descritas (campo producido por la bobina paralelo al campo magnético terrestre y campo producido por la bobina antiparalelo al campo magnético terrestre), representadas en la Figura 2, y calculando el campo magnético producido en el interior de la bobina podemos determinar el campo magnético terrestre del lugar donde se realiza el experimento. El campo magnético creado por la bobina debe ser menor que el campo magnético terrestre; más adelante justificaremos el motivo de esta condición.

### Equipo experimental

Para la realización de la experiencia descrita en este artículo no hace falta un montaje complicado ni elementos de difícil adquisición.

El equipo experimental utilizado en esta experiencia consta de una fuente de tensión de 6V, un resistencia variable (de  $100\Omega$  de valor máximo), un amperímetro y una bobina cilíndrica de 30,0cm de diámetro y formada por 130 espiras de hilo de cobre de 0,355 mm de diámetro. El imán empleado es un cilindro de hierro magnetizado de 0,59cm de diámetro y 7,97cm de longitud y de 17,60g de masa.

Es necesario que la bobina tenga un radio relativamente grande para poder manipular el imán con comodidad. Puesto que el imán es corto y la longitud de la bobina es muy pequeña comparada con su radio, podemos considerar la bobina como un conjunto de

$N$  espiras muy comprimidas, de manera que el campo magnético que actúa sobre el imán lo podemos aproximar al resultado de multiplicar por  $N$  veces el campo magnético producido por una espira en su centro:

$$B_{\text{bobina}} = \mu_0 \frac{N}{2r} I \quad (5)$$

donde  $r$  es el radio de cada una de las espiras y  $I$  es la intensidad que circula por ellas. La bobina se puede construir devanando hilo de cobre alrededor de un cilindro de plástico o metacrilato. De esta manera tenemos un sistema rígido. El imán se puede colgar mediante un hilo de un gancho situado en la parte interna del cilindro de plástico.

### Resultados obtenidos

En la Tabla I presentamos los resultados obtenidos al medir el tiempo que tarda un imán en realizar diez oscilaciones cuando se le aparta de su posición de equilibrio, situado en el interior de una bobina cilíndrica, tal y como hemos descrito más arriba.

	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)
	32,58	50,09
	31,57	52,01
	31,71	55,13
	30,97	51,11
	31,11	51,47
	32,80	55,34
	30,75	53,89
	33,17	50,59
	30,46	48,44
	32,22	47,99
media	31,71	51,61
periodo (s)	3,171	5,161

**Tabla I.- Resultados experimentales correspondientes al tiempo que tarda el imán en realizar diez oscilaciones:  $t_1$  corresponde a un sentido de la corriente que circula por la bobina y  $t_2$  cuando la corriente circula en sentido contrario.**

Los tiempos etiquetados como  $t_1$  corresponden a las medidas cuando una corriente de una intensidad de 20,0mA circula por la bobina en un sentido y los tiempos  $t_2$  corresponden a los tiempos de oscilación cuando la misma intensidad de corriente circula por la bobina en sentido contrario.

De los resultados de la Tabla I se obtiene un periodo de oscilación de 3,171s correspondiente a la situación 1 y de 5,161s correspondiente a la situación 2. El campo magnético creado por la bobina en su centro viene dado por la ecuación (5) y, en nuestro caso, vale  $1,09 \cdot 10^{-5}\text{T}$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4), obtenemos que el módulo de la componente horizontal del campo magnético terrestre en el lugar donde hemos realizado el experimento vale  $2,41 \cdot 10^{-5}\text{T}$ . Valor cercano al

valor medio del campo magnético terrestre que, habitualmente, se toma igual a  $2,47 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

### **UNA NUEVA PREGUNTA: ¿DÓNDE ESTÁ EL POLO NORTE?**

En el apartado anterior hemos explicado como determinar la componente horizontal del campo magnético terrestre. Es una actividad de laboratorio relativamente habitual. Y la experiencia docente nos indica que puede ser algo aburrida para los estudiantes, pues la toma de datos es tediosa y poco atractiva. Con una ligera variante, esta práctica puede resultar mucho más sugestiva para los estudiantes.

Se trata de preguntar a los estudiantes si el polo norte geográfico coincide con un polo norte magnético o con un polo sur. La pregunta no va dirigida a que los estudiantes nos hablen de la declinación magnética, es decir la diferencia de la latitud geográfica entre los polos geográficos y magnéticos, sino a deducir, a partir del montaje experimental utilizado para determinar el valor del campo magnético terrestre local, donde están situados realmente los polos magnéticos terrestres respecto los polos geográficos.

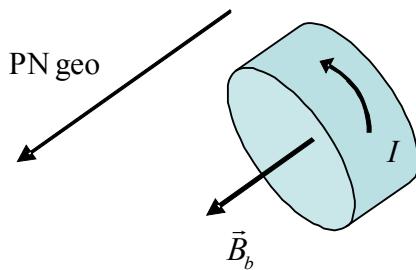
La dirección del polo norte geográfico es de suponer que es conocida por los estudiantes. En caso contrario se les puede indicar la posición por donde sale el Sol.

Sabemos, lo acabamos de determinar en el apartado anterior, que el período de oscilación del imán cuando circula por la bobina una corriente de 20mA es de 3,171s. Si invertimos el sentido de la corriente, el período de oscilación del imán es de 5,161s. Las dos determinaciones las hemos hecho con dos sentidos diferentes del campo magnético producido por la bobina, estamos pues reproduciendo las dos configuraciones representadas en la figura 2. Por tanto, si tenemos en cuenta el resultado de la ecuación (3), deducimos que el campo magnético total que actúa sobre el imán en la primera situación ( $T_1=3,171\text{s}$ ) será mayor que el campo que actúa en la segunda situación ( $T_2=5,161\text{s}$ ), ya que  $T_1 < T_2$ . Así pues, en la primera situación el campo magnético terrestre y el campo magnético producido por la bobina tendrán el mismo sentido. Teniendo en cuenta que este resultado lo hemos obtenido orientado la bobina de manera que el campo magnético creado por ella apunte hacia el PN geográfico (véase la Figura 3) deducimos que el campo magnético terrestre apunta hacia el polo norte geográfico. Como que se considera que las líneas del campo magnético de un imán (como es la Tierra) salen del polo norte y mueren en su polo sur, deducimos de nuestra experiencia que el polo norte geográfico coincide con el polo sur magnético de la Tierra, considerada como un imán.

Nuestra deducción puede sorprender: ¡el PN es un PS! Veamos si la bibliografía nos ayuda a corroborar nuestro resultado o lo contradice.

Una posibilidad es la búsqueda de información en Internet. Por ejemplo, en la página web [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) obtenemos una información contradictoria, pues algún artículo dice que los polos norte (geográfico y magnético) coinciden y en otro artículo nos dice que son opuestos. La consulta bibliográfica especializada tampoco nos aclara demasiado el asunto. En libros clásicos de astronomía podemos leer que los polos,

geográficos y magnéticos, no coinciden, pero se refieren a la declinación magnética (Bakouline, 1974) y (Motz and Duveen, 1966). Con lo que no esclarecemos nuestra duda. Algo parecido sucede en libros de divulgación astronómica (Roman, 1982).



**Figura 3.-** La bobina está orientada de manera que el campo magnético creado por ella apunte hacia el polo norte geográfico.

En una gráfica para explicar los cinturones de Van Allen, en Tipler (1994), se dibujan las líneas de campo magnético terrestre que salen del polo sur geográfico y llegan al polo norte geográfico. Realmente, estos no están representados explícitamente, pero teniendo en cuenta que el PN normalmente se representa en la parte superior de la figura y el PS en la inferior, podemos suponer que están en estas posiciones. Así pues, teniendo en cuenta que las líneas de campo magnético de un imán se dibujan de manera que salen del imán por su PN y entran por su PS, podemos deducir del dibujo que el PN geográfico corresponde a un PS magnético. De todas maneras no podemos basar una deducción en un simple esquema con información deficiente.

En Broman, Estalella y Ros (1988) sí que encontramos claramente la respuesta a nuestra pregunta: "La comparación con el estudio de lo que sucede cerca de una barra imantada muestra que toda la Tierra se comporta como un gran imán con un polo Sur magnético cerca del polo Norte geográfico (y que, para crear un poco más de confusión, se llama **Norte magnético**)" (en negrita en el original).

### COMENTARIO A MODO DE CONCLUSIÓN

Para complementar el análisis que hemos realizado en el apartado anterior, vamos a dar otro dato. Recordemos que hemos deducido que el campo magnético terrestre va dirigido hacia el PN geográfico. Al colgar el imán dentro de la pequeña bobina se orienta en la dirección del meridiano. Si hacemos circular por la bobina una corriente de manera que se genera un campo de sentido contrario al del campo magnético terrestre (configuración B de la figura 2), se observa que el imán gira e invierte su posición, cuando por la bobina circula una corriente de 50mA. ¿A qué es debido? Si calculamos la intensidad necesaria para que la bobina cree un campo igual al campo magnético terrestre ( $2,72 \cdot 10^{-5}$ T en nuestro caso) se obtiene un valor de 44,4mA. Esto quiere decir que para intensidades superiores a este valor el campo creado por la bobina supera al campo magnético terrestre y el imán da la vuelta pues se orienta en la dirección y sentido del campo resultante. Por tanto, para poder realizar dos

determinaciones del periodo de oscilación del imán correspondientes a dos valores del campo magnético resultante, no debemos superar este límite de la intensidad. Si superamos este valor no tendremos las dos situaciones de la experimentación anterior, con un imán sometido a dos campos magnéticos de la misma dirección y del mismo sentido pero de módulos diferentes. Recordemos, que en la experiencia descrita, los dos campos magnéticos resultantes apuntan hacia el PN en ambos casos, por esta razón el imán mantiene su orientación.

También podríamos realizar la experiencia con dos valores diferentes de la intensidad de corriente que circula por la bobina sin necesidad de invertir su sentido. Si bien, en este caso, los valores del periodo de oscilación del imán obtenidos difieren poco y el resultado es más impreciso.

Queremos comentar otro aspecto de esta experiencia. Se refiere al cálculo de errores y a los aparatos de medida. Si hacemos el cálculo de errores, algo engoroso en este caso, ya que debemos derivar la expresión resultante de sustituir la ecuación (4) en la ecuación (5) respecto de las magnitudes mensurables (intensidad de corriente, radio y periodo), vemos que la imprecisión del campo magnético terrestre es del orden de  $10^{-7}\text{T}$ . Obtenemos, pues, resultados bastante precisos con un montaje relativamente rudimentario. A primera vista, parece que aquello que más influye en la discrepancia del campo magnético terrestre, sea la precisión con que medimos el periodo de oscilación del péndulo. Pero no es así, porque una precisión en la medida del periodo de  $10^{-3}\text{s}$ , como es nuestro caso, permitiría obtener una precisión del campo magnético terrestre del orden de  $10^{-9}\text{T}$ , suponiendo que el valor calculado de  $B_{\text{bobina}}$  fuese exacto. El cálculo nos indica que las incertidumbres debidas a la intensidad y al radio son las que limitan la precisión del resultado. Para obtener un error de imprecisión del orden de  $10^{-7}\text{T}$  debemos utilizar un amperímetro que nos permita medir con una precisión de  $0,1\text{mA}$ . Para la determinación del radio de la bobina basta con una precisión de  $10^{-3}\text{m}$ .

En la actividad que presentamos, los estudiantes deben aplicar lo que han aprendido en las clases de teoría para responder a las preguntas que se les hacen. Y deben hacerlo de una manera crítica y no simplemente mediante la sustitución numérica de ecuaciones. Así, generalizan los contenidos teóricos y ven que tienen una aplicación fuera del contexto puramente académico o de resolución de problemas numéricos de aplicación. El interés de los estudiantes por una actividad de este tipo es alto. Tienen ganas de resolver el problema, su actitud frente a la actividad de laboratorio y de la asignatura en general aumenta. Piensan que "sirve para algo" el estudio del campo magnético de una bobina o de una espira, pues comprueban su utilidad en situaciones cotidianas.

Con esta actividad, fomentamos la investigación escolar entendida como una actividad en la que los estudiantes deben formular hipótesis, comprobarlas experimentalmente y modificarlas en caso que no den respuesta al problema planteado. Además damos un sentido más profundo a los contenidos explicados en clase, los cuales pueden parecerles, en ocasiones, alejados de sus intereses y únicamente necesarios para poder resolver problemas de lápiz y papel. Con ello, los estudiantes comprenden que dichos contenidos les ayuda a interpretar la realidad física.

Con un pequeño cambio de enfoque, hemos convertido una actividad de escaso valor educativo en una actividad que ayuda a los estudiantes a acercarse a la metodología científica.

## **REFERENCIAS**

- Bakouline, P., Kononovitch, E., Moroz, V. (1974). *Astronomie Générale*. Editions Mir. Moscou.
- Broman, L., Estalella, R. y Ros, R.M. (1988). *Experimentos de Astronomía*. Editorial Alhambra. Madrid.
- Cañal, P. (2007). La investigación escolar hoy. *Alambique*, pp. 9-19.
- Gil, D.; Carrascosa, J.; Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Editorial ICE – Horsori.
- Lorrain, P. y Corson, D. (1990). *Campos y ondas electromagnéticos*. Ed. Selecciones científicas. Madrid.
- Motz, L.; Duveen, A. (1966). *Essentials of Astronomy*. Columbia University Press. New York and London.
- Roman, C.A. (1982). *Els amants de l'Astronomia*. Editorial Blume. Barcelona.
- Tipler, P.A. (1994). *Física*, 3a edición norteamericana. Editorial Reverté. Barcelona.

## IS THE EARTH'S NORTH POLE A MAGNETIC NORTH POLE OR A SOUTH POLE?

### SUMMARY

*We present an activity that differs from what is generally taught in practicals in university teaching laboratories. The aim is to approach scientific methodology by posing relevant questions.*

**Keywords:** teaching resources, physics, school research, laboratory activities.