

# TEMAS A REFORMAR EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

F. Herrmann, Departamento de Didáctica de la Física, Universidad de Karlsruhe.

## RESUMEN

Se compara el desarrollo del saber científico con la evolución de sistemas biológicos. Tal como cada sistema biológico inevitablemente contiene fósiles el currículo de la Física contiene conceptos obsoletos. Se argumenta que existe un gran potencial para la simplificación de la enseñanza de la ciencia. Se presentan varios ejemplos de conceptos obsoletos en la Física.

## ABSTRACT

The development of scientific knowledge is compared with the evolution of biological systems. Just as every biological system inevitably contains fossils the physics syllabus contains obsolete concepts. It is argued that the potential for simplifying the teaching of science by eliminating these historical burden is high. Several examples for obsolete concepts in physics are given.

## INTRODUCCIÓN

El conjunto del saber científico está aumentando, mientras el tiempo del que disponemos para la enseñanza queda sin cambiar. Por consiguiente, para dar a cada nueva generación de estudiantes una idea general de lo que se considera lo esencial de la ciencia contemporánea, es preciso procesar el saber científico de alguna manera. En general el problema se soluciona por la especialización. Los estudiantes aprenden el núcleo de la Física de una manera más general e inevitablemente más superficial, y profundizan su conocimiento en una de las especialidades de la Física: la Física de los plasmas, la Física de las partículas elementales, la Física de las nano-estructuras...

Sin embargo, aparte de la especialización hay otra manera de remediar el mal, por lo menos parcialmente.

En este artículo se argumentará que el saber científico comprende un gran potencial de simplificación.

En la sección 2, comparemos el proceso de crecimiento del saber físico con la evolución de sistemas biológicos. Una consecuencia de esta evolución es que el sistema es muy conservador y comprende rodeos congelados. Contiene temas que se pueden comparar con relictos en sistemas biológicos.

Después, en la sección 3, se exponen algunos ejemplos de estos conceptos obsoletos, o "cargas históricas" [1].

### 2. La evolución del saber científico

En cierto sentido, el crecimiento del saber científico es similar a la evolución de sistemas biológicos. En ambos tipos de sistemas existen *generaciones*. El profesor es miembro de una generación. Antes de transmitir el contenido de la Física a los jóvenes miembros de otra generación él mismo lo tiene que aprender. Sin embargo, entre aprender y transmitir, el saber científico padece cambios. Por un lado, el profesor va tener en cuenta nuevos resultados de la investigación científica. Por otro lado, puede ocurrir que introduce errores. Estos cambios se pueden comparar con las *mutaciones* de la genética.

En general, los cambios y mejoramientos que un profesor está realizando sólo se refieren a su especialidad, mientras que la estructura general de la ciencia será transmitido sin alteraciones. Esto significa que el saber básico no está expuesto a la misma *presión selectiva* que los desarrollos más recientes. Hechos descubiertos o desarrollados recientemente serán agregado a los temas más antiguos sin cuestionar el antiguo núcleo. En la teoría de la evolución este fenómeno existe también y se llama *prolongación*.

Una consecuencia es que una reestructuración o remodelación de la ciencia se vuelve cada vez más difícil. La fuerza motriz para un cambio es cada vez más débil. En otros términos: Cuanto más complejo es un sistema en proceso de evolución, tanto más conservador será. Por esta razón, el saber científico refleja su propio desarrollo histórico.

Cada estudiante tiene que reproducir este desarrollo histórico. El proceso de aprendizaje individual procede a menudo hasta en los mínimos detalles por la misma vía que el desarrollo de la

ciencia entera. Esta observación nos recuerda una regla que cualquier estudiante de biología tiene que aprender: La ley biogenética de Ernst Haeckel según la cual *la ontogénesis recapitula la filogénesis*, la evolución embrionaria se semeja a la evolución de la especie.

Observamos entonces la fenómeno siguiente: Los rodeos que forzosamente tomó el desarrollo del saber científico se conservan. Así ideas que en un contexto más largo se revelan superfluas o inapropiadas pueden ser mantenidos. Un estado transitorio del desarrollo histórico puede sobrevivir como *fósil viviente*, como los genetistas suelen llamar a este fenómeno. Incluso sobreviven errores aparentes. Así, estudiando los contenidos actuales de la Física podemos aprender mucho sobre la historia de la Física. De hecho, se puede realizar una auténtica arqueología de esta manera.

La transición de la ciencia hacia un estado de cada vez mayor rigidez es un proceso inevitable y normal. No es una acusación osada decir que la ciencia es innecesariamente complicada. Si estamos diciendo que la ciencia está en un estado imperfecto, no pretendemos decir que los científicos han sido incompetentes. Las personas que en su época trabajaron para el avance de la ciencia hicieron lo que había que hacer. Igual como un relicto de la evolución biológica en un tiempo remoto cumplió una función importante, muchos componentes de la ciencia, que hoy día resultan superfluos u obsoletos, desempeñaron un papel indispensable en el pasado.

He aquí el potencial simplificador que mencionamos antes. Proponemos entonces buscar rodeos históricos y temas obsoletos y eliminarlos del currículo.

Se nos ocurren dos objeciones posibles respecto a esta propuesta.

Primero, se podría opinar, que el recorrido histórico es el más natural y el más eficiente del punto de vista de la psicología del aprendizaje. "¿No es este recorrido, que la comunidad científica ha seguido inicialmente, el que corresponde al método más fácil también para el individuo?" Según nuestro parecer no es así. Los ejemplos que vamos a presentar muestran que a menudo un concepto sencillo ha sido descubierto pasando por estados intermedios muy complicados. Solamente al final se notó que hubiera habido un atajo.

Y la segunda objeción hipotética: "La historia de la ciencia es un tema de la enseñanza tan importante como los mismos contenidos físicos. Por esta razón vale la pena seguir el recorrido histórico." Sin embargo, lo que estamos haciendo en general no es la enseñanza de la historia de la Física. Enseñar la historia de la ciencia significa analizar esta historia y

reflexionar sobre ella. No basta repasar ciegamente el camino histórico.

Durante muchos años, en nuestro grupo de trabajo, hemos buscado sistemáticamente temas contenidos en los currículos o programas de la Física, que se pueden considerar como temas obsoletos, superfluos o inapropiadamente presentados. Con el tiempo la vista para estos fenómenos se le vuelve a uno muy aguda, y se está descubriendo cada vez más ejemplos [2].

## 1. Ejemplos

La exposición de cada uno de los ejemplos está estructurado de la misma manera.

Primero, introducimos *el tema*. Citaremos algún libro típico o resumimos una afirmación en su forma más típica, sin comentar. Nunca vamos a mencionar la fuente, ya que nuestro objetivo no es poner en la picota algún autor o libro en particular.

Después discutiremos lo que, según nuestra opinión, es lo inconveniente en este tema o esta afirmación, o por qué es inapropiado su presentación: *el defecto*.

A continuación, intentaremos de explicar *el origen* de la inconsistencia. En efecto, en la mayoría de los ejemplos se puede observar, que en un tiempo anterior, el tema o su presentación, era justificado y apropiado.

En último lugar, se hace una propuesta de como se puede deshacer del mal: *el remedio*.

### 3.1 Acciones a distancia

*El tema*. La enseñanza de la mecánica suele empezar con la mecánica Newtoniana y, por consiguiente, con la vista Newtoniana del mundo físico. Una propiedad esencial de esta vista es la existencia de fuerzas: Decimos que un cuerpo A ejerce una fuerza sobre otro cuerpo B.

*El defecto*. Esta vista está basada en la existencia de acciones a distancia, ya que no se menciona el rol que desempeña el sistema que está mediando la fuerza. Sin embargo, desde el gran éxito de la primera teoría del campo, la teoría de Maxwell, la comunidad científica está convencida de que el concepto de acción a distancia no es apropiado para la descripción de interacciones mecánicas.

*El origen*. Al mismo Newton no le gustó este aspecto de su teoría. Pero el tiempo aún no era maduro para una descripción local.

*El remedio*. Mencionemos consecuentemente el sistema que está mediando la fuerza.

### 3.2 Las leyes de Newton

*El tema.* Las tres leyes de Newton.

*El defecto.* Según el punto de vista de la física contemporánea, todas las tres leyes no son otra cosa que la expresión de la conservación del momentum. La primera y la tercera declaran esta conservación para dos situaciones particulares. Esto se ve muy claramente, cuando se expresan estas leyes mediante corrientes de momentum. En efecto, la fuerza no es otra cosa que otra palabra para una corriente de momentum [3-5]. Así, se pueden traducir las tres leyes como sigue:

1. El momentum de un cuerpo permanece constante en tanto que no existe una corriente de momentum que entra al cuerpo, o que sale del cuerpo.
2. El cambio del momentum con el tiempo, es decir  $dp/dt$ , es igual a la corriente de momentum que fluye hacia el cuerpo:

$$dp/dt = F$$

3. Cuando una corriente de momentum está fluyendo entre dos cuerpos A y B, la intensidad de la corriente  $FA$  que entra en A es igual a la intensidad  $FB$  de la corriente que sale de B.

*El origen.* Para Newton sus tres leyes le parecieron independientes, porque eran parte de una red bastante complicada de definiciones y observaciones.

*El remedio.* En una presentación consecuente como teoría local, tenemos que interpretar la fuerza como corriente de impulso o momentum. Si así lo hacemos, notaremos que las leyes de Newton se pueden reemplazar por la afirmación: El momentum es una magnitud que se conserva.

### 3.3 Formas de energía

*El tema.* La energía se nos presenta en diversas formas: cinética y potencial, eléctrica y química, calor, trabajo y muchos más.

*El defecto.* A pesar de que estamos hablando a menudo de formas de energía, entramos en problemas, cuando tenemos que definirlos. A veces, no somos consecuentes en la distinción de la clasificación de energía almacenada y de flujos de energía. Hay físicos que no son capaces de explicar porque no es correcto decir que la energía está almacenada en forma de calor. Algunos Físicos profesionales entran en dificultades cuando se les pregunta, qué parte de la energía de un resorte o de una molécula de oxígeno es mecánica, térmica, química, eléctrica, magnética, cinética, potencial,

ordenada o desordenada. Clasificar la energía en formas es sencillamente superfluo, y en los casos donde podría tener cierta utilidad y un significado claro, hay métodos más apropiados para distinguir los sistemas o procesos considerados [6].

*El origen.* Cuando el concepto de energía fue introducido en la Física a mediados del siglo 19, hablar de formas de energía era una cosa muy natural y casi inevitable, porque la nueva magnitud tenía una propiedad única: la de no tener ninguna propiedad. No se conocía ninguna propiedad idónea para reconocer el contenido en energía de un sistema, independientemente del sistema particular. No se conocía ningún método general para medir la energía contenida en un sistema. Resultó entonces natural decir de esta magnitud que se manifiesta en diversas formas: a veces por una alta velocidad, a veces por una alta temperatura, otras veces por una alta tensión mecánica, etc. Ciertas máquinas o ciertos artefactos fueron llamados, consecuentemente, convertidores o transformadores de energía. Sin embargo, este estado particular duró solamente medio siglo. En 1905, con la publicación de la teoría de la relatividad especial, se reveló que la energía no es una magnitud tan misteriosa como parecía antes. Ya que energía y masa no son otra cosa que dos nombres distintos para la misma magnitud, la energía tiene propiedades bien definidas: las mismas que ya conocíamos de la masa, es decir peso e inercia. Por consiguiente, se puede medir y reconocer la energía en todos los sistemas por el mismo método, en principio por lo menos.

*El remedio.* Seamos parsimoniosos con los adjetivos después de la palabra energía.

### 3.4 Estructuras comunes

*El tema.* Las diversas ramas de la Física tienen estructuras distintas. Se utilizan distintas descripciones matemáticas y distintos modelos. Un ejemplo lo representan la mecánica, la electricidad y la termodinámica.

*El defecto.* Se podrían presentar los tres campos mencionados de tal manera que resulta una gran similitud entre ellos. Si en cada caso se pone en el centro una magnitud extensiva característica y la magnitud intensiva conjugada, se ve aparecer una analogía de las estructuras matemáticas. Las magnitudes extensivas son el momentum para la mecánica, la carga eléctrica para la electrodinámica y la entropía para la termodinámica. Las magnitudes intensivas correspondientes son la velocidad, el potencial eléctrico y la temperatura absoluta, respectivamente. Una manifestación de esta analogía es que en cada uno de los tres campos existe un transporte de energía particular, y para cada uno vale una expresión de la misma estructura.

Tenemos:

$$P = v \cdot F$$

para un transporte mecánico de energía (por medio de una correa de transmisión por ejemplo). El flujo de energía por medio de un cable eléctrico se puede calcular así:

$$P = U \cdot I$$

Y una corriente de energía por un conductor térmico está relacionada con la corriente de entropía  $I_S$  y la temperatura:

$$P = T \cdot I_S$$

Otro ejemplo que muestra como funciona la analogía es la descripción de procesos disipativos.

En un proceso disipativo mecánico, es decir un proceso con roce mecánico, el momentum siempre está trasferido del cuerpo con mayor velocidad al cuerpo de menor velocidad. La carga eléctrica fluye del potencial eléctrico más alto al potencial más bajo y la entropía fluye espontáneamente de la temperatura mayor a la menor.

Estos son solamente dos entre muchos otros ejemplos que muestran, que el proceso de enseñanza puede ser simplificado aprovechando esta analogía.

*El origen.* Las diversas partes de la Física se han desarrollado independientemente. La semejanza mencionada se ha vuelto aparente solamente a finales del siglo 19.

*El remedio.* Remodelación de la Física, pero esto es una operación de mucha envergadura [7].

### 3.5 Materiales magnéticos

*El tema.* Intoduciendo el magnetismo de la materia, generalmente se empieza con la histéresis.

*El defecto.* Los estudiantes de Física e incluso profesionales de la Física saben notablemente menos sobre la magnetoestática que de la electrostática, a pesar de que las fuerzas magnéticas que podemos experimentar en la vida cotidiana son más fuertes que las fuerzas electrostáticas. Una de las razones es que el magnetismo de la materia sin falta se introduce por el efecto de histéresis. La impresión que se impone es que el comportamiento de un imán está determinado esencialmente por este efecto complicado. Sin embargo, para muchos materiales ferromagnéticos modernos, y en particular los materiales que se utilizan para la fabricación de los muchos imanes alrededor de nosotros, el rol de la histéresis es casi nulo. Estos

imanes tienen una magnetización constante la que reciben en el proceso de fabricación y en condiciones normales no se nota nada de histéresis. Evidentemente se puede exponer un imán a un campo externo tan fuerte que la magnetización imprimida va a cambiar. Pero al introducir el ferromagnetismo es razonable prescindir de estos efectos, tal como se prescinde de desviaciones de la ley de Hooke cuando la estamos introduciendo [8].

*El origen.* Solamente 50 años atrás, no se hubiera podido enseñar el ferromagnetismo sin referencia a la histéresis. Los materiales que eramos capaces de fabricar eran lejos de lo que se puede llamar "magnéticamente duro". Era muy fácil cambiar la magnetización de un llamado imán permanente de esta época.

*El remedio.* Empezar el tema con la consideración dos tipos de materiales magnéticos ideales:

- los magnéticamente duros, que tienen magnetización fija;
- los magnéticamente blandos que acomodan su magnetización de tal manera que la intensidad del campo en su interior siempre será cero.

### 3.6 La potencia

*El tema.* La magnitud  $P$ , la energía por tiempo, se llama potencia.

*El defecto.* El valor de esta magnitud siempre se refiere a una superficie. Es una medida de la energía atravesando esta área por tiempo. Un nombre más sugestivo sería *corriente* o *flujo de energía*. Este nombre sería de acuerdo con los nombres de varias otras magnitudes análogas: corriente eléctrica, corriente de masa.

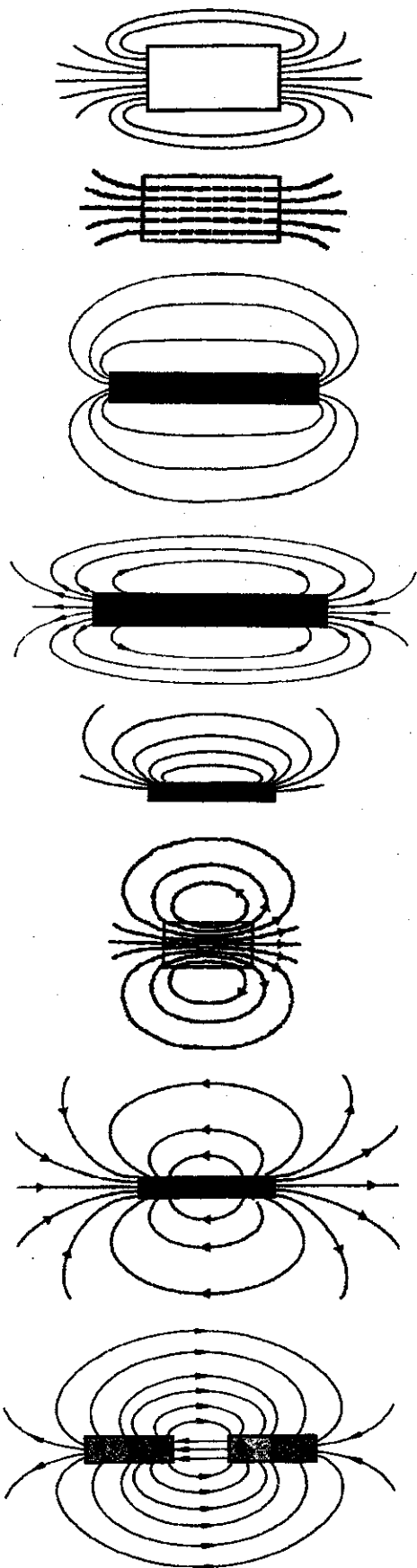
*El origen.* Fue acuñado en una época cuando todavía no se podía localizar la energía.

*El remedio.* Llamar a  $P$  "corriente de energía" en vez de "potencia".

### 3.7 La dilatación térmica de materiales líquidos y sólidos

*El tema.* En la enseñanza de la termodinámica dedicamos bastante tiempo a la discusión de la dilatación térmica de cuerpos sólidos y de líquidos. Intentamos justificar la importancia del tema con la consideración de la dilatación de puentes y de los rieles de los ferrocarriles.

*El defecto.* Es un efecto del orden de 10 a la menos cuatro, y de efectos de esta magnitud hay muchísimos. Hay efectos netamente mayores en magnitud y en importancia que no tratamos, porque



**Figura 1.** Dibujos de las líneas de campo de un imán de barra sacados de libros de la escuela secundaria. Ninguno de los dibujos es correcto.

no tenemos el tiempo necesario. Además, explicamos porque se dilatan los puentes, pero sería lógico explicar también, porque las casas y las calles adyacentes no se dilatan. Además, hoy día las vías ferreas ya no se dilatan.

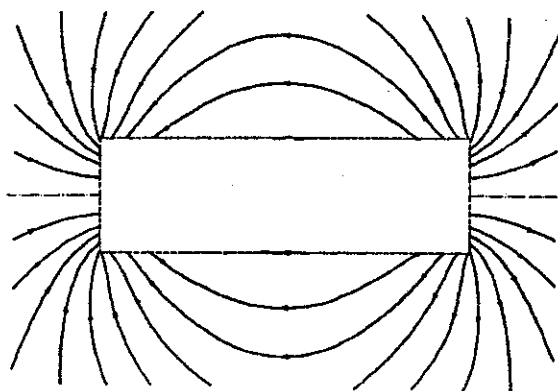
*El origen.* El efecto era importantísimo cuando la unidad de la temperatura era basada en la dilatación térmica del mercurio. Sin embargo desde mucho tiempo ya no es legal esta definición.

*El remedio.* Renunciemos del tema, y discutamos efectos más importantes, por lo menos en las clases introductorias.

### El campo del imán permanente

*El tema.* Dibujos o imágenes de las líneas de campo de un imán permanente en forma de barra se encuentran en la mayoría de libros de texto de Física.

*El defecto.* Hemos considerado todos los libros a nuestro alcance. Las imágenes mencionadas eran incorrectas en todos los libros de escuela secundaria, figura 1. En algunos libros todas las líneas salen de las superficies de los lados extremos, es decir donde se encuentran los polos. En realidad salen también en los lados de la barra, ver la figura 2, que muestra las líneas de campo correctamente. (Esta figura está sacada de un libro de universidad.) Algunos autores parecen pensar además, que las líneas tienen que estar perpendicular a la superficie del imán. En algunos ejemplos de la figura 1 hay líneas que salen de las superficies laterales del imán pero su orientación respecto a la superficie es incorrecta.



**Figura 2.** Dibujo correcto de las líneas de campo de un imán de barra.

*El origen.* Probablemente los errores son debido al desprecio muy común de la magnitud intensidad del campo magnético  $H$ .

*El remedio.* Se podría pensar que basta con hacer los dibujos correctos. Sin embargo, el problema es más delicado [8].

### 3.8 .El clima marítimo y el clima continental

*El tema.* Algunos libros atribuyen la diferencia entre el clima marítimo y el clima continental al calor específico. El calor específico del agua es mayor que el de la tierra.

*El defecto.* La explicación no es correcta. La diferencia es debido a la diferencia en la conducción térmica, que en el caso del agua es mucho más eficaz, debido a la convección. Así en verano el calor penetra en una capa más profunda en el agua, comparado con la tierra firme.

*El origen.* La explicación errónea es plausible. Evidentemente, no todo lo que es plausible, también es correcto. Encontramos también libros con la explicación correcta. Es notable la coexistencia entre una explicación correcta y otra errónea.

*El remedio.* Explicar el efecto correctamente.

#### 4. Conclusión

Intentamos de mostrar que gran parte de lo que se considera los contenidos esenciales e imprescindibles del currículo ha entrado en los libros gracias a coincidencias históricas. De esto se desprende que hay un gran potencial para la simplificación del currículo.

Para localizar conceptos obsoletos es preciso una actitud que se podría caracterizar como irrespetuosa. Efectivamente, es una falta de respeto, pero es falta de respeto hacia convicciones que se desarrollaron por mera costumbre o dejadez. De ningún modo es falta de respeto ante los logros de los científicos que idearon un concepto en su tiempo.

Probablemente, algunos lectores no están de acuerdo con nosotros en todos los puntos. Tal vez, opinan que lo que en nuestro juicio es un concepto obsoleto no merece este calificativo. Sin embargo, nuestra intención no era, de convencer a cada uno de que cada uno de nuestros ejemplos es un fósil. Lo que sí era nuestra intención era mostrar que tales temas existen y que están entre los temas que todo el mundo considera como fundamentales.

#### REFERENCIAS

- [1] HERRMANN, F., JOB, G.(1996): "The historical burden on scientific knowledge". *Eur. J. Phys.* 17, 159-163
- [2] HERRMANN, F., JOB, G. (1994-2000): *Atlanten der Physik*. Columna en la revista *Physik in der Schule*. El primer artículo apareció en *Physik in der Schule* 32, 322. Hasta esta fecha aparecieron más de 50 artículos. Se publicarán también en nuestro sitio Internet: [www.physik.uni-karlsruhe.de/~didaktik/](http://www.physik.uni-karlsruhe.de/~didaktik/)
- [3] PLANCK, M. (1908): "Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in der allgemeinen Dynamik". *Phys. Z.* 9, 828-830
- [4] HERRMANN, F., SCHMID, G. B. (1984): "Statics in the momentum current picture". *Am. J. Phys.* 52, 146-152
- [5] HERRMANN, F., SCHMID, G. B. (1985): "Analogy between mechanics and electricity". *Eur. J. Phys.* 6, 16-21
- [6] FALK, G., HERRMANN, F., SCHMID, G. B. (1983): "Energy forms or energy carriers?". *Am. J. Phys.* 51, 1074-1077
- [7] HERRMANN, F. (1998): *Der Karlsruher Physikkurs* (Köln: Aulis Verlag). (Curso para la escuela secundaria. Existe también una versión CD-ROM. El CD-ROM contiene una traducción al castellano de los capítulos más importantes del curso. Gratuito para pedidos desde países de América Latina. Pedir por correo electrónico a <didaktik@tfp.physik.uni-karlsruhe.de>)
- [8] HERRMANN, F. (1991): "Teaching the magnetostatic field: Problems to avoid". *Am. J. Phys.* 59, 447 - 452