

# “Fósiles” en la enseñanza de las ciencias

Friedrich Herrmann y Nelson Arias Ávila

*The fact that the scientific knowledge increases steadily, whereas the teaching time remains constant, represents a problem for the teaching of science. We show that the physics curriculum contains concepts which, in former times, had been necessary and useful, but today are superfluous. The detection and elimination of these “fossils” could substantially alleviate this problem. Some examples are given.*

## 1. Introducción

El mundo científico y tecnológico crece produciendo continuamente conocimientos; cada pocos años surgen nuevos campos de investigación, se crean nuevas asignaturas o subdivisiones de éstas, lo cual propicia a su vez la aparición de nuevos textos y publicaciones cuyo número crece exponencialmente. De esto se desprende una pregunta muy natural: ¿cómo enseñar todos estos conocimientos a las generaciones presentes y futuras?

Simplificando un poco, se puede resumir la estrategia tradicional para la solución del problema planteado diciendo que cada vez que aparece un campo o conocimiento nuevo en las ciencias, se lo introduce en la enseñanza simplemente agregándolo al plan de estudios comprimiendo el material anterior, pues el tiempo definido para cada asignatura no varía; en algunos casos incluso disminuye.

Se podría pensar que este método es en principio correcto o por lo menos que no existe otra posibilidad, pero no es así. Los nuevos conocimientos y teorías son generalmente de tal índole que permiten reorganizar los saberes anteriores, posibilitando la descripción simplificada de lo antiguo y lo nuevo desde puntos de vista comunes, aprovechando las similitudes estructurales dentro del saber científico. Esto no se ha practicado suficientemente en física, aunque consideramos que es una de las tareas más importantes de la didáctica y debería ser una labor permanente ligada a la investigación científica.

Al abordar esta reorganización observamos un problema específico, resultado de la marcada tendencia que tiene el desarrollo científico a producir algo que puede llamarse “fósiles”: ideas o conceptos que en cierta época fueron justificados y útiles, pero que han dejado de serlo en la actualidad. Presentaremos a continuación los mecanismos generales que conducen a la formación de dichos “fósiles” y discutiremos algunos ejemplos de éstos en la enseñanza de la física.

## 2. La formación de “fósiles” en el saber científico

Revisando textos, tanto escolares como universitarios, se constata que efectivamente la mayoría tienen la estructura sugerida en el modelo tradicional planteado, es decir presentan los temas reproduciendo esencialmente el recorrido histórico de la disciplina respectiva. Los textos de física no escapan a esta tendencia, siendo además muy similares entre sí.

¿Es tan difícil una reestructuración del saber? Sí, es difícil. La ciencia es un sistema complejo, producto del desarrollo y la evolución del conocimiento y como tal tiene las pro-

iedades características de cualquier otro sistema complejo y evolutivo, entre ellas la disposición a la formación de “fósiles”.

Veamos este concepto de “fósil” considerando lo que ocurre con los programas para computadoras, un procesador de textos por ejemplo. Casi anualmente aparece una nueva versión del procesador que debe ser compatible con las anteriores, con lo cual se hace más complicada de lo que debería. Como resultado las nuevas versiones son más lentas y requieren más memoria que programas que ignoraran la exigencia de compatibilidad. Finalmente, el programa termina siendo compatible con archivos y aplicaciones que ya nadie utiliza. Dicho programa contiene “fósiles”.

Consideramos que el término “fósil” es adecuado, utilizándolo aquí en un sentido similar al que se emplea en la biología (Herrmann y Job, 1996; Herrmann, 2000), con algunas precisiones. Tomamos el “fósil” como un vestigio que dentro de un sistema determinado cumplió en otros tiempos una función vital, que ahora ya no cumple.

Volvamos entonces a los contenidos de la física donde, al igual que en otros sistemas evolutivos, se han ido formando “fósiles”; allí encontramos conceptos que desempeñaron un papel importante, pero que en la actualidad son superfluos y representan un lastre innecesario para la enseñanza. Para la investigación en didáctica de la física, que consideramos implica una reestructuración conceptual de esta última, es imprescindible identificar estos “fósiles” para después eliminarlos; ello no es tarea fácil, pues hemos aprendido la física de cierta manera y estamos tan acostumbrados a verla así, que resulta difícil creer en otras posibilidades de presentarla.

Para descubrir “fósiles” se necesita ser un poco iconoclasta con los textos, algo que se podría llamar “falta de respeto” hacia los escritos científicos. Efectivamente es en cierta forma una falta de respeto, pero no ante los logros de la ciencia ni ante los artífices de los mismos, sino ante los escritos de autores que sólo reproducen simple y mecánicamente tales logros.

Hay que decir sin embargo que los “fósiles” en la enseñanza de la física, al igual que sus análogos biológicos, tienen varios aspectos positivos; nos enseñan mucho sobre la historia de la ciencia, nos cuentan cómo interpretaron la naturaleza nuestros antepasados y en algunos casos proporcionan ejemplos útiles de cómo abordar o no abordar un tema en particular. Es función de los historiadores de la ciencia velar por que aquellos conceptos considerados “fósiles” en otras ramas del saber, mantengan la vigencia adecuada dentro de su disciplina y no sufran lo que podría considerarse una segunda “fossilización”.

### 3. Ejemplos de “fósiles” en la enseñanza de la física

Bajo los anteriores parámetros es posible desarrollar toda una “fosilogía”, buscando y clasificando los diferentes tipos de “fósiles”.

Los más importantes y posiblemente más perjudiciales en la enseñanza, son los relacionados con ideas fundamentales de la física. Otra categoría está vinculada directamente con la enseñanza; acá se incluyen los métodos de enseñanza fosilizados. Hay “fósiles” muy simples en su estructura, por ejemplo un vocablo usado inadecuadamente. Finalmente, hay conceptos que se han fosilizado debido a los avances en la técnica y la tecnología.

Consideremos algunos ejemplos para cada una de estas clases.

#### El concepto de campo

Acá presentamos un “fósil” relacionado con conceptos físicos fundamentales.

La mayoría de los programas de física comienza con la mecánica newtoniana, en la cual se aprende que los cuerpos se atraen gracias a tener masa; se dice por ejemplo que la tierra atrae a la luna. Esta presentación del fenómeno, típicamente newtoniana, es una descripción mediante una acción a distancia en la cual no hay conexión entre los cuerpos. El espacio entre éstos está vacío y no hay ningún medio que posibilite la atracción. Este concepto de interacción sin un medio era inaceptable para muchos físicos, el mismo Newton estaba convencido de que esta concepción no era la última palabra; sin embargo, en su época no había otra elección.

Fueron necesarios 150 años para que surgieran una teoría y los experimentos correspondientes que mostraron que no era indispensable admitir acciones a distancia, por lo menos en el caso de la atracción entre polos magnéticos y entre cargas eléctricas. Según Faraday entre los polos y las cargas existía algo que él llamó campo; estos campos llamados electromagnéticos fueron posteriormente descritos teóricamente por Maxwell.

Desde entonces, es decir desde hace más de cien años, en el mundo científico no se considera apropiada la idea de las acciones a distancia; sin embargo los textos siguen promulgándolas, reproducen la mecánica tal como fue imaginada por Newton, como si la física desde Maxwell no hubiera existido. He aquí un ejemplo sencillo de fosilización.

La historia del concepto de campo después de Maxwell es más intrincada y muestra que la identificación de “fósiles” no siempre es fácil, como veremos a continuación.

Para entender el pensamiento de Faraday debemos recordar que él y los científicos de su época estaban convencidos de que todo el espacio estaba lleno de una sustancia llamada éter. El éter era el medio en el cual se propagaban las ondas de la luz, permitía así mismo, dar una explicación más satisfactoria de la interacción entre cuerpos con carga eléctrica sin recurrir a las acciones a distancia. En la región del espacio que rodeaba a los cuerpos cargados, el éter se encontraba según Faraday, en un estado de tensión o presión mecánica; la atracción era entonces transmitida por él mismo.

Maxwell como Faraday, no dudaba de la existencia del éter, por lo cual consideró muy importante describir sus propiedades, como lo manifiesta en su obra principal: “Enton-

ces, todas estas teorías conducen a la concepción de un medio en el cual la propagación tiene lugar y, si admitimos dicho medio como hipótesis, pienso que éste debería ocupar un sitio prominente en nuestras investigaciones y que deberíamos esforzarnos por construir una representación mental de todos los detalles de su acción; este ha sido mi objetivo constante en el presente tratado.”(Maxwell, 1954a).

Miremos su definición de campo, pues es importante para lo que intentamos mostrar. Según Maxwell, el campo eléctrico es “...la parte del espacio alrededor de los cuerpos electrificados...” (Maxwell, 1954b). No hay que olvidar que para él, “espacio” era sinónimo de éter.

La realización del experimento de Michelson y Morley, que pretendía detectar el movimiento de la tierra con respecto al éter, mostró que éste debía tener unas propiedades tan extrañas que algunos físicos concluyeron que era imposible su existencia.

Esta vez, los autores de libros y artículos reaccionaron rápida y masivamente, el éter desapareció de la mayoría de ellos. Dicho sea de paso, Einstein no negó la existencia del éter: “Esta variabilidad espacio-temporal de las relaciones mutuas de reglas y relojes [...] ha descartado definitivamente la idea de que el espacio sea físicamente vacío.” (Einstein, 1920a). “Conforme a la teoría general de la relatividad un espacio sin éter es inconcebible, ya que en tal espacio no solamente no habría propagación de la luz, sino tampoco la posibilidad de existencia de reglas y relojes, es decir de distancias espacio-temporales en el sentido de la física. Sin embargo, no se debe imaginar este éter dotado de la propiedad característica de la materia ponderable, es decir de estar constituida de partes que pueden ser seguidas individualmente en el tiempo; a él no se le puede aplicar el concepto de movimiento” (Einstein, 1920b).

El cambio radical que implicó la negación de la existencia del éter en la mayoría de los libros tuvo consecuencias graves para la evolución de algunos conceptos. Surgió algo que ya a los filósofos de la antigüedad les había parecido impensable, la existencia del espacio completamente vacío, es decir la existencia de la nada. Las consecuencias de esta manera de pensar fueron particularmente negativas para el desarrollo del concepto de campo. Los textos seguían definiéndolo tal como lo hiciera Maxwell, es decir como “el espacio” alrededor de los cuerpos cargados y le atribuían propiedades. Pero, ¿cómo puede el espacio que no contiene nada tener propiedades?

Hubiera podido esperarse que esta situación tuviera corta duración, ya que poco después surgieron nuevas teorías que mostraron que el llamado espacio vacío no estaba para nada vacío; el éter había resucitado bajo otro nombre. Se le llamó “vacío” (nombre desafortunado dado que la palabra “vacío” en el lenguaje común expresa la ausencia de cosas, la falta de contenido físico y no la presencia de algo).

Pero las cosas no fueron así; el estado de breve duración del “espacio vacío” (sin nada) perduró fosilizándose en la mayoría de textos, que presentan al espacio vacío y al campo como una propiedad de esta ausencia. Como consecuencia, para los estudiantes, el campo aparece como algo muy abstracto y confuso. Con los conocimientos actuales es posible ver y plantear que el campo es un ente real tan fácil y accesible al entendimiento como los conceptos de cuerpo, gas perfecto, etc. (Herrmann, 1989).

## La escala de temperatura

En este caso el “fósil” se refiere a métodos de enseñanza. En él se pone de manifiesto cómo seguimos enseñando un tema reproduciendo su recorrido histórico.

Aprovechando la propiedad de la gran mayoría de los líquidos de dilatarse cuando se les calienta, fue posible escoger el mercurio para definir la escala Celsius de temperatura, en la cual el agua hierve a  $100^{\circ}\text{C}$  y se congela a  $0^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo la anterior definición se basaba en una propiedad particular de una sustancia concreta, el mercurio; con otro líquido se hubiera obtenido una escala diferente.

Con el tiempo, buscando una escala más universal, se recurrió a la dilatación de los gases, ya que todos ellos se comportan de la misma manera, por lo menos en una buena aproximación. Posteriormente se encontró una forma, completamente independiente de cualquier sustancia, para definir la escala de temperatura por medio del cociente  $\partial E(S,V)/\partial S$ , o dicho brevemente en palabras, energía por entropía. Esta escala se utiliza en el mundo científico desde hace más de cien años.

Pero, ¿cómo enseñamos el concepto de temperatura en la escuela y la universidad? Empezamos con la escala del mercurio, seguimos con la del gas y si los estudiantes tienen suerte, al final se les enseña la única escala de temperaturas válida según las convenciones internacionales. A muchos estudiantes el estudio de esta última escala les parece un tema difícil y de poca aplicación; sin embargo, en un contexto diferente dicha escala, llamada absoluta, podría ser la más fácil de aprender, permitiendo además un mejor aprovechamiento del tiempo al no seguir el recorrido histórico.

Para resaltar lo inadecuado que resulta en la enseñanza la introducción tradicional del concepto de temperatura, haremos una comparación presentando una historia hipotética de la evolución de otra magnitud intensiva: la tensión eléctrica. Imaginemos que este concepto hubiera tenido un desarrollo y destino similar al de la temperatura. Primero se habría medido y definido la tensión eléctrica mediante un efecto muy débil y dependiente de una sustancia particular, por ejemplo por medio de la electrostricción. Más tarde encontrando un efecto independiente de la naturaleza de los materiales, se hubiera inventado el electroscopio y creado una escala de tensión eléctrica basada en este instrumento. Finalmente descubriendo un proceso más general, independiente de cualquier sustancia o instrumento, se hubiera definido la tensión por medio del cociente  $\partial E/\partial q$ , es decir energía por carga eléctrica. Afortunadamente la historia no fue así y la definición inicial continúa en principio siendo válida hoy.

Lo ocurrido con la temperatura tiene consecuencias adicionales. Muchos de los cursos elementales de termodinámica empiezan con el estudio detallado de la dilatación térmica de cuerpos sólidos y líquidos. Este es un efecto pequeño del orden de  $10^{-4}$ , para variaciones razonables de temperatura. En la naturaleza existen numerosos efectos tan pequeños como éste y en una introducción no parecería lógico estudiarlos extensamente. Hay efectos mucho más grandes e importantes para la comprensión de la naturaleza y de la técnica que no podemos discutir en nuestros cursos por falta de tiempo; entonces ¿qué sentido tiene extendernos tanto en la dilatación térmica? Consideramos que la principal razón para que esto ocurra obedece simplemente a algo de inercia;

anteriormente la definición de temperatura se basaba en este efecto, que entonces era fundamental para comprender la física, pero hoy ya no lo es.

## Los términos “potencia” y “trabajo”

Este ejemplo de fósil se refiere a términos o vocablos.

Un aparato eléctrico suele caracterizarse por cierta cantidad de vatios, la llamada potencia ( $P$ ) del aparato. Consideremos como ejemplo una lámpara de  $60\text{W}$ . Esta magnitud indica que la lámpara, cuando está conectada correctamente, recibe de la central eléctrica  $60$  julios por segundo, entregando a su vez  $60$  J/s por medio de luz y calor. En otros términos,  $60\text{W}$  expresa la medida de la corriente de energía que pasa por la lámpara, la misma que circula por su cable de conexión y que es posible medir en cualquier sección a través de éste. Sin embargo, en lugar de llamar a la magnitud  $P$  corriente de energía la llamamos potencia de la lámpara, como si fuera una magnitud medible sólo en ella. Este nombre data de la época en que no sabíamos localizar los flujos de energía.

Otro término fosilizado es el de “trabajo”. Llamamos trabajo a una determinada manera de transportar energía, es decir, constituye una de las denominadas formas de energía (Falk *et al.*, 1983), tal como la eléctrica o la química. ¿Por qué seguimos llamándola así? Porque el vocablo trabajo fue acuñado antes de ser formulado el concepto de energía, olvidándose posteriormente de dar a esa magnitud un nombre más adecuado, habiendo sobrevivido ese vocablo como “fósil”.

## La histéresis

Como ejemplo final presentamos un “fósil” producto del desarrollo técnico y tecnológico.

En los cursos básicos enseñamos el ferromagnetismo, que siendo un fenómeno relativamente sencillo da otra impresión al estudiante. Se le enfrenta a una explicación complicada del magnetismo por medio del diagrama de histéresis, que representa la magnetización ( $M$ ) de una sustancia en función de la intensidad del campo magnético ( $H$ ). Este diagrama muestra que podemos modificar la magnetización de un imán por medio de un campo “exterior”, el de otro imán por ejemplo. Este era un fenómeno muy común hasta hace aproximadamente  $50$  años, cuando no se sabía fabricar imanes de buena calidad. Entonces los imanes eran objetos muy frágiles y caprichosos, la menor influencia exterior estropeaba su magnetismo, pero esos tiempos han pasado.

Los imanes actuales conservan bien su magnetismo inclusive en condiciones extremas, el diagrama  $M$  versus  $H$  de un imán moderno es sencillamente una línea recta paralela al eje  $H$ . Sin embargo los diagramas de los imanes imperfectos se han conservado como “fósiles” en los textos. Los expertos en magnetismo posiblemente objetarán diciendo que aún los materiales magnéticos modernos presentan histéresis. Esto es cierto; sin embargo ésta se manifiesta solamente si el imán es de mala calidad o si se emplea inadecuadamente para algo no programado.

Analícemos como ejemplo análogo un resorte. Decimos en un curso básico que éste obedece a la ley de Hooke, pero acá también podría observarse histéresis al aplicar al resorte una fuerza superior a la máxima prevista. A pesar de esto, consideramos razonable empezar el estudio y análisis del

resorte limitándonos al intervalo de validez de la ley de Hooke. ¿Por qué, entonces, no limitarnos a estudiar los imanes en un curso básico, dentro del intervalo de magnetización constante?

Hemos presentado algunos casos de cuatro clases de “fósiles”, sin embargo debemos anotar que son muchos y variados los ejemplos que podemos encontrar en los diferentes textos y publicaciones científicas (Herrmann y Job, 2002), (Herrmann y Arias Ávila en: [http://www.redacademica.edu.co/redacad/export/REDACADEMICA/ddirectivos/cartera\\_ciencias/conceptos.html](http://www.redacademica.edu.co/redacad/export/REDACADEMICA/ddirectivos/cartera_ciencias/conceptos.html)).

#### 4. Conclusión

Era nuestra intención llamar la atención sobre el hecho de que la física tal como la enseñamos tiene un alto contenido de arbitrariedad y convencionalismo. Es necesario identificar los temas que permanecen en los planes de estudio y asignaturas sólo por razones históricas, hay que detectar y eliminar los fósiles. Aún si el lector está en desacuerdo con que los ejemplos presentados sean “fósiles”, esperamos al menos haberlo motivado a iniciar su búsqueda. Igualmente esperamos haber contribuido a mostrar la necesidad de revisar y reorganizar algunos conceptos de la física, así como de tener cierta “falta de respeto” hacia sus textos y publicaciones.

#### Agradecimientos

Uno de los autores (N.A.A.) agradece a la Fundación Job, con sede en Hamburgo, por la ayuda prestada para la terminación de este trabajo.

#### Referencias

- [1] EINSTEIN, A., (1920a). *Äther und Relativitäts-Theorie*, p.12. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- [2] EINSTEIN, A., (1920b). *Äther und Relativitäts-Theorie*, p.15. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- [3] FALK, G., HERRMANN, F., SCHMID, B. (1983). Energy forms or energy carriers? *Am. J. Phys.* **51**, 1074 -1077.
- [4] HERRMANN, F. (1989). Energy density and stress: A new approach to teaching electromagnetism. *Am. J. Phys.* **57**, 8, 707-714.
- [5] HERRMANN, F. (2000).Temas obsoletos en la Enseñanza de la Física. *Actas II Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria*, Vol. **1**, p. 91-101. La Habana: UNED Ediciones.
- [6] HERRMANN, F., JOB, G. (1996). The historical burden on scientific knowledge. *Eur. J. Phys.* **17**, 159-163.
- [7] HERRMANN, F., JOB, G. (2002). *Atlanten der Physik*, 221 p., Köln: Aulis Verlag Deubner.
- [8] MAXWELL, J.C. (1954a). A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol. 2, Art.866, p.493. New York: Dover.
- [9] MAXWELL, J.C. (1954b). A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol.1, Art. 44, p.47. New York: Dover.

**Friedrich Herrmann**

*está en Abteilung für Didaktik der Physik, Universität,  
76128 Karlsruhe, Alemania.*

*friedrich.herrmann@physik.uni-karlsruhe.de*

**Nelson Arias Ávila**

*está en la Universidad Distrital, Bogotá, Colombia  
nelsona@udistrital.edu.co*