

# ¿CÓMO SE PRESENTA EL CONCEPTO DE FUERZA ELECTROMOTRIZ? VISIONES DISTORSIONADAS DE LA ELECTRICIDAD EN LOS LIBROS DE TEXTO

MONTERO MORENO<sup>1</sup>, ANTONIO; GUIASOLA ARANZABAL<sup>2</sup>, JENARO y FERNÁNDEZ GONZÁLEZ<sup>3</sup>, MANUEL

<sup>1</sup> IES Sierra Almirante. Nerja.

<sup>2</sup> Departamento de Física Aplicada, Universidad del País Vasco.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada.

---

**Palabras clave:** Fuerza electromotriz, diferencia de potencial, campos conservativo y no conservativo.

## 1. OBJETIVOS

El trabajo que aquí se expone trata de analizar cómo se presenta, en los libros de texto, el concepto de Fuerza electromotriz en la Enseñanza Secundaria (15-18 años). El objetivo principal que nos hemos propuesto es mostrar que, a pesar del incremento, en los últimos años, de las investigaciones sobre la Naturaleza de la Ciencia en la Enseñanza de la Ciencia, los resultados de aquéllas no han conseguido, aún, ser adoptadas en los libros de texto. La herramienta de análisis ha sido elaborada teniendo en cuenta las investigaciones de los últimos años acerca de la Naturaleza de la Ciencia y sus relaciones con la Enseñanza de la Ciencia.

## 2. MARCO TEÓRICO

Actualmente los trabajos sobre la Naturaleza de la Ciencia y sus implicaciones científicas se consideran una línea emergente dentro de la investigación en Didáctica de las Ciencias (Alters 1997). Las imágenes sobre la Ciencia y el trabajo científico se han ido manifestando en la literatura académica, al menos en parte, a través del movimiento sobre la Naturaleza de la Ciencia que ha ido surgiendo en el discurso educativo.

Los estudios sobre la Naturaleza de la Ciencia agrupan diferentes aspectos sociales que incluyen la historia, la sociología y la filosofía de la Ciencia para explorar cuestiones como: qué es la Ciencia, cómo trabaja la Ciencia, cómo trabajan los científicos y cómo la propia Sociedad dirige y reacciona ante la andadura científica. Por lo que, los trabajos de este tipo son fundamentales para guiar al profesorado de ciencias. Del mismo modo la comprensión de la naturaleza y procedimientos de la ciencia es un requisito esencial para que el profesorado sepa orientar adecuadamente el proceso de enseñanza aprendizaje.

A pesar del incremento de las investigaciones sobre la Naturaleza de la Ciencia, en la Enseñanza de la Ciencia hay pocos trabajos en los que se relacionen imágenes de la Ciencia con la introducción de conceptos y teorías en dominios concretos de la enseñanza de la Física como puede ser, por ejemplo, el concepto de Fuerza electromotriz. Una fuente de información valiosa para analizar cómo se presentan los conceptos y teorías de la Física es ver el contenido de los libros de texto. En otro orden de cosas, aunque relacionado con lo anterior, es importante resaltar la gran dependencia de los profesores respecto de los libros de

texto en todo el mundo. Es por esto que se han analizado en qué contexto y con qué imágenes de la Ciencia presentan los libros de texto, publicados entre los años 1978 y 2004, el concepto de fuerza electromotriz.

Un conjunto de razones convergen en la elección del concepto de fuerza electromotriz. En primer lugar, el concepto está incluido en los programas de Bachillerato (16-18 años) y primer curso de ciencias e ingeniería en la Universidad. En segundo lugar, es un prerrequisito básico para explicar el funcionamiento de un circuito de corriente continua, ya que permite cuantificar la energía cedida a la unidad de carga por el generador eléctrico. En la pila tienen lugar una serie de ‘acciones eléctricas no electrostáticas’ a través de las cuales se suministra energía a la unidad de carga (Chabay y Sherwood, 2002). Así pues, en física el concepto de fuerza electromotriz se define de forma muy específica en relación con los conceptos de carga, potencial, campo eléctrico e intensidad de corriente y se utiliza para explicar el comportamiento de los generadores eléctricos en los circuitos eléctricos sencillos o bien, la fuerza electromotriz de inducción.

Desde un punto de vista de la epistemología de la ciencia el análisis de la controversia que llevó a una interpretación electrodinámica de los circuitos eléctricos, que empezó con la explicación de Volta, continuó durante la primera mitad del siglo XIX con las aportaciones de Ohm y Kirchhoff para, posteriormente, llegar a la teoría de Lorentz de los electrones, no se puede subestimar. El concepto de fuerza electromotriz es relevante desde el punto de vista histórico y cultural ya que corresponde al período de historia de la electricidad donde se produce la transición de la electrostática a la electrocinética, con las grandes repercusiones a nivel tecnológico y de investigación que este hecho produjo en el primer cuarto del siglo XIX (Sutton 1981).

El concepto de fuerza electromotriz es también importante desde el punto de vista social, tecnológico y de conservación del medio ambiente, especialmente cuando se tratan cuestiones de pilas y fuentes de energía. En relación con las pilas el asunto es tan espectacular que difícilmente se podría concebir ahora una sociedad sin ellas. Marcapasos, aparatos para sordos, telefonía móvil, una pléyade de pequeños electrodomésticos... a los jóvenes de 15 o 16 años les cuesta concebir un mundo sin los objetos que ellas hacen funcionar. Y por esto nos vemos en la necesidad de reciclar cada año miles de toneladas de residuos sólidos que, se producen como consecuencia del empleo generalizado de las pilas. Esta nueva situación, que nos hace tan dependientes y frágiles exige que se aborde desde las clases, un dato puede convencer de esta necesidad: una sola pila puede contaminar 150.000 litros de agua.

A partir de estos supuestos se analizaron las principales dificultades que se produjeron en el desarrollo del concepto de fuerza electromotriz a lo largo de la historia, que se recogen en un artículo que se va a publicar en la revista “Enseñanza de las ciencias”, lo que nos llevó a establecer los principales indicadores de aprendizaje del concepto de fuerza electromotriz.

De acuerdo con las dificultades detectadas en el análisis histórico y el marco teórico actual de la Física, se han establecido algunos de los indicadores necesarios para un aprendizaje comprensivo del concepto de ‘fuerza electromotriz’ y de sus relaciones con otros conceptos fronterizos como los de diferencia de potencial, carga e intensidad de corriente. La investigación en Enseñanza de las ciencias ha mostrado que para un aprendizaje comprensivo es necesario no sólo adquirir conocimientos de tipo conceptual, sino también adquirirlos de tipo procedimental y axiológico que no pueden soslayarse. Así pues, clasificaremos los indicadores para un aprendizaje comprensivo del concepto de fuerza electromotriz en tres dimensiones, la dimensión conceptual, la epistemológica y la actitudinal. A continuación indicamos la relación de indicadores:

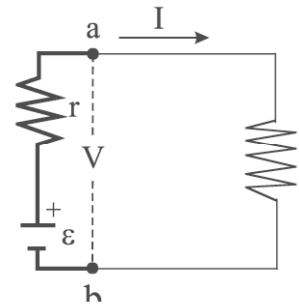
### **3. INDICADORES DE UN APRENDIZAJE COMPRESIVO DEL CONCEPTO DE ‘FUERZA ELECTROMOTRIZ’**

#### **Dimensión conceptual**

- 1) Es bien conocido que las cargas se desplazan a través de un conductor cuando existe una diferencia de potencial entre sus extremos. Así pues, a la hora de construir un modelo explicativo del movimiento de las cargas en un circuito sencillo de corriente continua como el del esquema 1 es necesario conocer que

FIGURA 1

La parte en trazo más grueso representa la parte del circuito constituido por la pila. La parte dibujada en trazo más fino representa el resto del circuito.

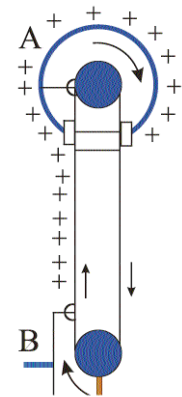


para que las cargas se desplacen a través de un hilo conductor es necesaria la existencia de diferencia de potencial entre dos puntos del hilo.

- 2) Una de las formas de generar diferencia de potencial consiste en separar cargas de distinto signo en una zona del espacio y, en el caso de un circuito de corriente continua, esta función la realiza la pila. Por tanto, será necesario conocer que *la necesidad de definir el concepto de fuerza electromotriz procede del hecho de que la pila separa cargas y crea una diferencia de potencial*. Este proceso de separación de cargas lo podemos explicar mediante una analogía entre la pila y el generador de Van der Graaf que se explica en electrostática (ver figura 1). Al cabo de un cierto tiempo se ha establecido una diferencia de potencial entre los puntos A y B. Evidentemente la carga acumulada en la esfera A aumenta constantemente y cuanto mayor sea la cantidad mayor será la diferencia de potencial y más difícil será llevar las cargas de B a A, debido a la repulsión electrostática entre cargas del mismo signo. Así pues, sobre las cargas actúan dos tipos de fuerzas: las electrostáticas que tienden a repeler las cargas que llegan a la esfera A (fuerzas eléctricas y conservativas) y la fuerza de rozamiento (no conservativa) entre la cinta transportadora y el peine, que hace que las cargas lleguen a la esfera A. Pues bien, la fem cuantifica la energía puesta en juego por unidad de carga, en el proceso en el que las cargas se desplazan hasta la esfera, Rañada (1997, p.117) y Rodríguez et al. (1999, p.313).

FIGURA 2

Esquema del generador de Van der Graaf. En este generador la fricción de una cinta de material aislante en movimiento, con una escobilla B situada en la parte inferior, hace que la escobilla B quede cargada negativamente y la cinta positivamente. Las cargas positivas son transportadas por la propia cinta y liberadas mediante una segunda escobilla, sobre una esfera metálica hueca situada en la parte superior.



Del mismo modo que en la analogía descrita, en el interior de la pila sobre las cargas actúan fuerzas de naturaleza distinta: fuerzas no electrostáticas (acciones no conservativas) y fuerzas de repulsión electrostáticas (acciones conservativas). Así pues la fuerza total se puede indicar como:

$$\vec{F}_{total} = \vec{F}_{elec.,conservativa} + \vec{F}_{no\ elec.no\ conservativa} = q\vec{E} + q\vec{E}'$$

Donde E es el campo eléctrico conservativo producido entre los extremos A y B del interior de la pila o, en el caso de la analogía, del generador de Van der Graaf. E' es un campo no conservativo debido a las acciones no conservativas como, por ejemplo, reacciones químicas dentro de la pila (Rodríguez et all 1999, p313; Sears y Zemansky 1966, página 600).

3) La medida cuantitativa de la energía puesta en juego en la pila para separar las cargas viene dada de forma operativa por

$$fem_{ab} = \int_a^b \vec{E}' \cdot d\vec{l}$$

(donde  $E'$  es un campo no conservativo) a nivel microscópico y a nivel macroscópico se relaciona con el potencial y de la intensidad de corriente:  $e = DV + Ir$ . Así pues, es necesario conocer que la *fuerza electromotriz es la magnitud que mide el trabajo realizado por fuerzas no conservativas para separar las cargas y desplazarlas*.

4) La diferencia de potencial que medimos entre los puntos a y b, pertenece a la parte exterior del circuito (en trazo fino en la figura1) y se corresponde con el trabajo realizado al mover la unidad de carga dentro de un campo eléctrico conservativo situado dentro del cable (Arons 1970, Reitz, Milford y Christ 1996, Chabay y Sherwood 2002). En este sentido la definición operativa de la diferencia de potencial viene dada a nivel microscópico como

$$V_{ab} = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

y a nivel macroscópico como  $V_{ab} = IR$ . *La diferencia entre la fuerza electromotriz y la diferencia de potencial viene dada por medir diferentes tipos de acciones producidas por causas radicalmente diferentes*. La primera debida a un campo no conservativo y la segunda a uno conservativo. Conviene recordar que la diferencia entre un campo conservativo y uno no conservativo no es algo que se pueda 'reducir' a diferentes ecuaciones matemáticas; tal y como lo demuestra la historia del tortuoso y complicado camino que diferentes grupos de investigación dirigidos por eminentes científicos tuvieron que recorrer para establecer el concepto actual de 'fuerza electromotriz'. Así pues, será necesario que los estudiantes conozcan también a nivel cualitativo el diferente origen de los trabajos realizados por la pila para separar cargas (no conservativo) y por el campo eléctrico en el circuito (conservativo). Lo anterior implica conocer que *la fuerza electromotriz es una magnitud que cuantifica una transferencia de energía (de la pila a las cargas del circuito) asociada a fuerzas de origen no coulombiano, es decir, fuerzas en un campo no conservativo*.

5) De los comentarios anteriores se deduce que la '*fuerza electromotriz*' (*fem*) es una propiedad de los generadores de energía eléctrica y no es una propiedad ni del circuito ni de las cargas.

Hay que destacar que la investigación didáctica ha mostrado que todos los conceptos mencionados (potencial eléctrico, energía, trabajo, fuerza electromotriz) son conflictivos en su aprendizaje (Furió y Guisasola, 1998).

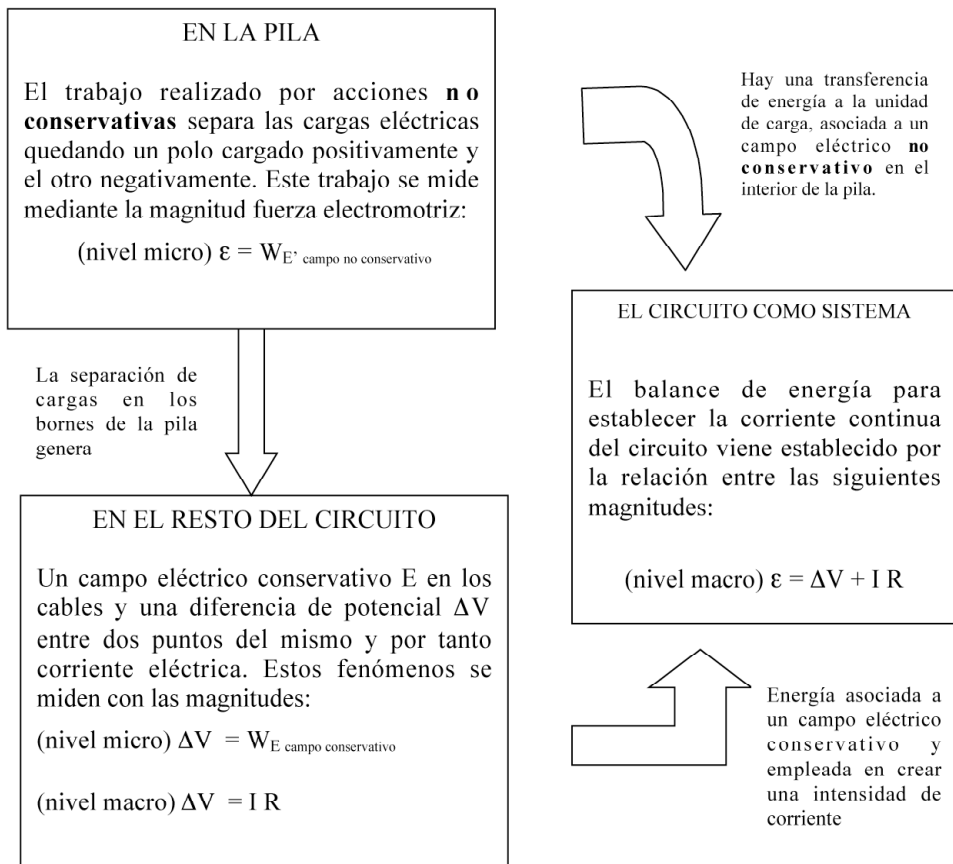
El cuadro de la página siguiente muestra el mapa del universo de conceptos utilizados en el modelo explicativo actual del funcionamiento de un circuito de corriente estacionaria.

## **B. Dimensión epistemológica**

- 1) Conocer la problemática que dio origen a los modelos explicativos de los circuitos de corriente continua y en concreto, a la explicación de la función de la pila en un circuito. Es decir, saber que los conceptos no se introducen de manera arbitraria sino que su introducción tiene el propósito de resolver situaciones problemáticas de interés.
- 2) Utilizar reiteradamente las estrategias del trabajo científico. Por ejemplo, analizar cualitativamente situaciones problemáticas, concebir hipótesis de trabajo, diseñar y realizar experimentos, obtener modelos con las limitaciones adecuadas, interpretar físicamente datos numéricos, análisis crítico de proposiciones... en el contexto de un circuito de corriente continua compuesto por pilas y resistencias.

## **C. Dimensión actitudinal**

Saber analizar aplicaciones CTS que permitan contextualizar la teoría aprendida y que les permita en un futuro, como ciudadanos que son, adoptar actitudes responsables hacia el desarrollo tecnológico y las implicaciones de carácter social que ello conlleva.



#### 4. PRUEBA PARA EVALUAR TEXTOS Y AVANCE DE CONCLUSIONES

En base a los hechos y argumentaciones anteriores se elaboró una prueba para la evaluación de los textos que se ha pasado a 38 libros de secundaria y a 22 libros de nivel universitario. La prueba evalúa *a)* los aspectos epistemológicos en la presentación de contenidos (Cuadro 1) y *b)* los aspectos didácticos en la presentación y organización de los mismos (Cuadro 2).

Los resultados estadísticos se presentarán más adelante, pero podemos avanzar algunos aspectos llamativos. En una situación de emergencia planetaria, en lo que se refiere a la conservación del medio ambiente, sólo uno de los libros hace mención a los aspectos contaminantes de las pilas. Sólo dos libros de nivel de Secundaria y otro de universidad diseñan actividades para tener en cuenta los errores conceptuales de los estudiantes. Ni uno solo de los libros de Secundaria incluye comentarios o actividades que lleven a los estudiantes a diferenciar entre la ley de Ohm y la ecuación del circuito. Se puede afirmar que en general los éxitos de las investigaciones sobre la Naturaleza de la Ciencia en la Enseñanza de la Ciencia, siguen ignoradas por la mayoría de los libros de texto de cualquier nivel.

**CUADRO 1**  
**Carencias epistemológicas en la presentación de contenidos.**

1) ¿Se justifica de algún modo por qué magnitudes como el potencial o la d.d.p., definidas para configuraciones de cargas en reposo, se emplean en el estudio de los circuitos, configuraciones en las que las cargas se mueven?	SI/NO/MENCIONA
2) En el capítulo correspondiente al potencial ¿Se explicita el ámbito de aplicación del concepto, indicándose claramente sus limitaciones así como la problemática que dio lugar a su definición?	SI/NO/MENCIONA
3) ¿Se presenta alguna situación problemática que justifique introducir el concepto de fem?	SI/NO/MENCIONA
4) ¿Se justifica de algún modo por qué se emplean el término fem y la letra $\epsilon$ en circuitos de corrientes estacionarias y en circuitos de corrientes variables?	SI/NO/MENCIONA
5) ¿Se explican las semejanzas y diferencias entre los conceptos de fem y d.d.p.?	SI/NO/MENCIONA
6) ¿Se relaciona la noción de fem con algún concepto introducido en temas anteriores al de circuitos eléctricos?	SI/NO/MENCIONA

**CUADRO 2**  
**Deficiencias didácticas en la presentación y organización de los contenidos.**

1) ¿Hay alguna proposición que tenga en cuenta los conocimientos previos y/o errores conceptuales de los estudiantes sobre los conceptos de potencial, diferencia de potencial y fuerza electromotriz?	SI/NO/MENCIONA
2) ¿Se favorece la presentación del tema como una estrategia para resolver los problemas que plantea el análisis del movimiento de cargas? Para un contexto de circuitos sencillos de corriente continua ¿se intenta de algún modo, hacer conscientes a los estudiantes de la necesidad de emplear los conceptos de potencial eléctrico, diferencia de potencial y fuerza electromotriz?	SI/NO/MENCIONA
3) ¿Se presta atención al análisis cualitativo de las situaciones planteadas antes de introducir las definiciones operativas? ¿Se favorece que los estudiantes adquieran significados de las magnitudes introducidas?; en concreto:	
3.1) ¿Se incluyen actividades o comentarios explícitos que promuevan la diferenciación entre la f.e.m. y la d.d.p. de una pila?	SI/NO/MENCIONA
3.2) ¿Se presentan comentarios explícitos o actividades que hagan reflexionar a los estudiantes sobre que la f.e.m. es una propiedad característica de la pila?.	SI/NO/MENCIONA
3.3) ¿Se incluyen actividades o comentarios explícitos que ayuden a los estudiantes a diferenciar el ámbito de aplicación de las ecuaciones $V = I \cdot R$ y $\epsilon = I \cdot R$ ?	SI/NO/MENCIONA
4) ¿Se favorece la adquisición de conocimiento observacional y empírico de las magnitudes diferencia de potencial y fuerza electromotriz en circuitos sencillos de corriente continua? En concreto:	
4.1) ¿Se proponen actividades que favorezcan el diseño de experiencias en circuitos de corriente continua relacionadas con las medidas de fem y d.d.p.?	SI/NO/MENCIONA
4.2) ¿Se presentan actividades o tablas de datos donde los estudiantes tengan que interpretar los conceptos de fem y d.d.p.	SI/NO/MENCIONA
4.3) ¿Se presentan comentarios explícitos o actividades que ayuden a los estudiantes a diferenciar el nivel empírico (macroscópico) del nivel interpretativo (modelos) al utilizar los conceptos de fem, diferencia de potencial y campo eléctrico?	SI/NO/MENCIONA
5) ¿Hay algún comentario o reflexión sobre las ventajas y consecuencias técnicas y sociales del empleo generalizado de las pilas?	SI/NO/MENCIONA

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALTERS, B.: 1997, 'Whose nature of science?', *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-56.
- CHABAY, R. & SHERWOOD, B. (2002) . *Matter and interactions* vol.2 . New York: Jhon Wiley & Sons, Inc
- CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science an of how children learns science, *Journal in Science Teaching*, 27 (5), 429-455.
- FURIÓ, C.y GUIASOLA, J. (1997), Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las ciencias*, vol 15, n12, pp 259-272.
- SOLOMON, J. (2002). "Science Stories and Science Texts: What Can They Do for Our Students?". *Studies in Science Education*, Vol 37, pp85-105.
- SUTTON, G. (1981). The politics of science in early Napoleonic france: The case of the voltaic pile. *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol 11 (2), pp 329-366.