

# Aprendizaje basado en fenómenos en Física

**Autor:** Liébana Garrido, M<sup>a</sup> Trinidad (Licenciado en Física, Profesor de Matemáticas en Educación Secundaria).

**Público:** Profesores de Física de Secundaria. **Materia:** Física. **Idioma:** Español.

**Título:** Aprendizaje basado en fenómenos en Física.

## Resumen

En este artículo se introducen las características más relevantes del aprendizaje basado en fenómenos. Se enumeran aquellos aspectos que hacen que este tipo de aprendizaje sea indicado para asignaturas de ciencias y en particular en la Física. La idea principal de este modo de aprender es despertar la curiosidad en los alumnos mediante la simple observación de fenómenos. Una vez despertada la curiosidad de los alumnos, ellos se encargaran de analizar, estudiar, colaborar, pensar y proponer diferentes soluciones que den explicación al fenómeno observado. Como ejemplo se proponen experiencias para exponer fenómenos relacionados con la cinemática, termodinámica o electromagnetismo.

**Palabras clave:** Didáctica de la Física.

**Title:** Phenomenon Based Learning in Physical.

## Abstract

In this article we introduce the most relevant characteristics of phenomena-based learning. The aspects that make this type of learning are indicated for science subjects and in particular in Physics are listed. The main idea of this way of learning is to awaken curiosity in students through the simple observation of phenomena. Once the curiosity of the students has been awakened, they will be in charge of analyzing, studying, collaborating, thinking and proposing different solutions that explain the observed phenomenon. As an example, experiences are proposed to expose phenomena related to kinematics, thermodynamics or electromagnetism.

**Keywords:** Didactics of Physics.

Recibido 2018-09-30; Aceptado 2018-10-03; Publicado 2018-10-25; Código PD: 100198

## 1. PRESENTACIÓN

Este artículo pretende ser una introducción a lo que se conoce como “*Aprendizaje basado en fenómenos*” o PBL de sus siglas en inglés “*Phenomenon Based Learning*”. Si bien recientemente este modelo o método está adquiriendo relevancia en ciertos ámbitos docentes hay que señalar que presenta ciertas similitudes con otros que gozan en la actualidad de bastante popularidad como el aprendizaje basado en proyectos o el aprendizaje colaborativo. Además, el aprendizaje basado en fenómenos también presenta ciertos elementos en común con la física recreativa que también ha gozado durante décadas de una buena aceptación entre ciertos sectores del ámbito docente.

## 2. INTRODUCCIÓN

El enfoque educativo que se presenta en este artículo, el aprendizaje basado en fenómenos, propone basar el aprendizaje en la observación de fenómenos naturales. En particular se recomienda el uso de juguetes o artefactos que pongan de manifiesto algún hecho relevante relacionado con diferentes partes de la asignatura. La clave reside en dar la oportunidad a los alumnos de que sean ellos los que descubran, investiguen y finalmente den explicación a los fenómenos observados.

De este modo se busca que sea la curiosidad de los estudiantes el principal motor en el proceso de aprendizaje. Durante este proceso el alumno deberá superar varios retos para lo que tendrá que desarrollar diversas estrategias: colaboración, investigación, razonamiento, estudio, análisis, etc... Naturalmente el alumno cuenta con la inestimable colaboración del profesor que se convierte en un supervisor que guía y estimula la evolución del proceso y finalmente verifica y/o completa las conclusiones.

### 3. APRENDIZAJE BASADO EN FENÓMENOS

El aprendizaje basado en fenómenos es un planteamiento o metodología que se basa en la observación de los fenómenos que ocurren en el mundo real, particularmente en los fenómenos que se manifiestan en ciertos artefactos o juguetes.

Habitualmente, el modo tradicional en el que se imparte una asignatura de ciencias consiste en presentar en primer lugar la teoría de un modo riguroso y formal para posteriormente, en el mejor de los casos, demostrar mediante ejemplos o actividades las aplicaciones que se desprenden de esta teoría. Por el contrario, el modo de trabajar a través del aprendizaje basado en fenómenos es observar inicialmente el fenómeno, simplemente ver qué sucede, para despertar la curiosidad del estudiante. Los fenómenos son observados en artilugios simples o en juguetes y tratar de comprenderlos exigirá al estudiante analizar la situación desde varios puntos de vista, investigar, colaborar y en definitiva trabajar análogamente a cómo trabaja un científico.

Como sucede en otras muchas metodologías algunos enfoques y estrategias se entremezclan o mejor dicho se comparten. Por ejemplo, el aprendizaje colaborativo y el aprendizaje basado en proyectos comparten varios elementos comunes al aprendizaje basado en fenómenos.

En el aprendizaje basado en fenómenos los estudiantes trabajan e investigan en grupos: los ejercicios y las conclusiones se elaboran por grupos. Como es natural el profesor orienta y guía a cada grupo y finalmente comprobará las conclusiones obtenidas.

Siguiendo la estrategia del aprendizaje basado en fenómenos, los conceptos y el fenómeno en sí mismo se abordan desde diferentes ángulos, aportando cada uno una pieza útil al puzzle global.

Estrictamente el aprendizaje basado en fenómenos no es un método en sí mismo, es un modo de intentar alcanzar una visión global sobre algún hecho representativo o relevante.

Es un método especialmente apropiado para la enseñanza de la física debido a la gran cantidad de ejemplos que podemos encontrar en un gran número de juguetes y artilugios convencionales. Habitualmente la enseñanza de la Física trata de dividir los fenómenos en pequeñas partes separadas que en ocasiones parecen que no tienen relación entre ellas. En el aprendizaje basado en fenómenos no existen fronteras artificiales que dificultan la comprensión global de los fenómenos tratándose de abordar el fenómeno desde una perspectiva global.

Existen matices que diferencian este modo de aprendizaje de otros como el aprendizaje basado en proyectos o el aprendizaje basado en problemas. La principal diferencia es que tanto en el aprendizaje basado en problemas como en el basado en proyectos los estudiantes trabajan sobre algo que el profesor les ha planteado, en cierto modo les viene impuesto de modo que el estudiante percibe que tiene una cuestión o un problema que resolver. Sin embargo, en el aprendizaje basado en fenómenos el estudiante debe trabajar sobre algún aspecto que ha despertado su curiosidad, de este modo la motivación le ayudará a dedicar más esfuerzo y más tiempo a aprender. El objetivo en el aprendizaje basado en fenómenos no es crear un informe o responder a una serie de cuestiones es sencillamente disfrutar explorando y descubriendo, que en última instancia es la esencia de la ciencia.

Este planteamiento del aprendizaje permite que los alumnos adquieran un conocimiento más profundo aplicado a situaciones reales. Es importante que los ejemplos que tomemos como fenómenos estén directamente relacionados y adaptados al currículo correspondiente.

Este enfoque permite también que los profesores detecten lagunas y confusiones que los estudiantes suelen tener sobre algunos conceptos básicos.

También debemos ser conscientes de que los estudiantes por si solos no pueden adquirir todos los conceptos y leyes de la física por si solos. Los estudiantes necesitan el apoyo y la supervisión del profesor que los orienta y aconseja.

El material preciso para llevar a cabo este modo de trabajar consiste principalmente en utensilios, artefactos o juguetes en lugar de libros de texto o cualquier sustituto que muestre las teorías de un modo riguroso y formal. Aprender una idea o concepto requiere tiempo y siempre debemos tener este aspecto presente en nuestras lecciones.

No pueden darse unas pautas precisas o unas rutinas para llevar a cabo este planteamiento, el profesor es el responsable de encontrar el modo de cautivar y atrapar la atención de los alumnos mediante una adecuada selección de

experimentos o fenómenos. El profesor no debe proporcionar la respuesta correcta de un modo directo y sencillo ya que de este modo el alumno no sería consciente del modo en el que trabaja la ciencia.

Los alumnos deben describir como han desarrollado sus experiencias, como las han relacionado con el fenómeno investigado y compartirlas con el grupo. En el proceso surgirán preguntas por parte de los alumnos que no serán fáciles de responder. Se ayudarán unos a otros y también se corregirán entre ellos. También deberán recurrir a búsquedas en la literatura o en red. De manera que se entremezclan características comunes a otros métodos de aprendizaje (colaborativo; TICs; proyectos...).

En definitiva, realizando la exploración del fenómeno al inicio, antes de tener ninguna otra información, y buscando la comprensión teórica posteriormente los estudiantes trabajan como realmente trabaja un científico.

### **3.1. Uso de artilugios y juguetes**

En este apartado expondremos una serie de ejemplos donde se aplica el aprendizaje basado en fenómenos. Como ya se ha mencionado no hay una serie de normas o pautas preestablecidas de modo que se expondrán experiencias concretas que pueden ser utilizadas para ser mostradas a los alumnos. Éstas pueden acompañarse de apuntes o notas para analizar los fenómenos destacados en la experiencia.

Para cada uno de los temas que encontremos en cada curso de física podemos elaborar distintos ejemplos para exponer en clase. Algunos ejemplos pueden realizarse con simples juguetes, otros deben realizarse con algún artefacto más elaborado pero es importante que todo el material que utilicemos esté al alcance de un laboratorio de docencia.

#### **3.1.1. Cinemática**

##### **Movimiento en dos dimensiones: Lanzadera de coches**

En muchas ocasiones hemos visto películas donde un coche o una motocicleta saltan sobre otro vehículo, sobre un río o incluso desde un edificio a otro. Para que el salto se produzca con garantías de éxito ciertos cálculos deben realizarse.

En este ejemplo presentamos un artilugio o juguete que nos permitirá explorar las leyes del movimiento mientras pasamos un rato divertido. Con unas tablas y gomas podemos fabricarnos nuestra propia lanzadera casera.

Vamos a realizar dos experiencias diferentes: en la primera un coche de juguete será lanzado horizontalmente y a continuación, en la segunda, lo lanzaremos con cierta inclinación.

##### **Procedimiento 1: Salto horizontal**

- Colocaremos la pista de modo que creemos un salto vertical, un barranco, por ejemplo, desde una mesa hasta el suelo.
- Mediremos el tiempo total que tarde en recorrer la pista y si es posible el tiempo en un tramo recto cerca del final del trayecto sobre la pista. Opcionalmente si existe la posibilidad pueden medirse los tiempos haciendo uso de cronocaptadores o elementos similares que permitan unas medidas más precisas.
- Con la estimación de la velocidad en el punto de salida de la pista podemos calcular a que distancia de la mesa caerá.
- Lanzaremos el coche y comprobaremos si la posición real de caída coincide con la posición estimada.

##### **Procedimiento 2: Salto inclinado**

- En este procedimiento colocaremos el final de la rampa con una pequeña inclinación mediante ayuda de una tabla o de algún tipo de soporte.
- Estimaremos la velocidad de llegada del coche al final de la rampa y calcularemos a que distancia debe llegar.
- Lanzaremos el coche y comprobaremos si la posición real de caída coincide con la posición estimada.

##### **Posibles preguntas sobre el fenómeno observado**

¿Cómo podemos alargar la distancia de caída del vehículo?

¿Por qué difieren las distancias calculadas y las distancias reales?

### Análisis del fenómeno

#### Procedimiento 1: Salto horizontal

La distancia que recorre el vehículo a través del aire depende de la velocidad inicial  $v_0$  (la velocidad en el borde de la rampa) y de la diferencia de altura entre la mesa y el suelo  $h$  (lugar de llegada). Tomando  $g$  como aceleración de la gravedad,  $t$  el tiempo y  $s$  la distancia horizontal que recorre el coche en el aire. A partir del desplazamiento vertical tenemos el tiempo:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

En el desplazamiento horizontal la distancia será:

$$s = v_0t = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

#### Procedimiento 2: Salto inclinado

En el caso de que la rampa se encuentre inclinada podemos calcular las velocidades en cada dirección (x e y) como:

$$v_x = v_0 \cos \alpha ; v_y = v_0 \sin \alpha$$

Igualando la posición en y a cero obtenemos el tiempo que permanece el vehículo en el aire

$$0 = h + v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow t = \frac{v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gh}}{g}$$

$$s = v_0 \cos \alpha t$$

El hecho de desprestigiar el efecto del rozamiento con el aire así como posibles errores en la medida de la velocidad de salida tiene como consecuencia que la distancia estimada y la distancia real no coinciden exactamente.

#### **Movimiento en dos dimensiones: Ballistic car**

Mediante este ejemplo podemos ayudar a comprender a los alumnos un hecho importante, el movimiento horizontal de los cuerpos no se ve afectado por las fuerzas verticales que actúan sobre él. El coche balístico consiste en un cañón que dispara verticalmente una esfera de acero mediante un muelle comprimido. Las ruedas del coche eliminan el rozamiento en la dirección horizontal, de modo que cuando lo empujamos se mueve, casi, a velocidad uniforme. Si disparamos el cañón mientras el coche se desplaza uniformemente la esfera saldrá del cañón y volverá a caer dentro del propio cañón.

Podemos recurrir a un ejemplo más habitual para comparar esta situación: Si viajamos en un tren sentados en nuestro asiento y lanzamos cualquier objeto hacia arriba, esperamos que este objeto vuelva a caer en nuestra mano. El coche balístico reproduce esta situación desde el punto de vista de un observador en reposo.



*Ejemplo comercial de coche balístico (www.arborsci.com)*

La finalidad de trabajar con este fenómeno es mostrar que la componente horizontal de la velocidad del proyectil es igual a la del propio coche a pesar del continuo cambio sobre la componente vertical de la velocidad. Se pone de manifiesto en este sencillo experimento la ventaja de poder descomponer las magnitudes vectoriales en las adecuadas componentes.

#### Procedimiento adicional

Además de observar el fenómeno y comprender como el movimiento vertical no interfiere con el movimiento horizontal podemos realizar unas medidas y aplicar las ecuaciones de cinemática para analizar con más detalle esta experiencia.

#### Medidas

Necesitamos tan solo tres medidas:

- La altura máxima ( $h_{\max}$ ) que alcanza el proyectil al ser disparado, ésta se toma desde la posición inicial del proyectil. Podemos tomar esta medida con el coche parado.
- La distancia total recorrida ( $d_{\text{total}}$ ) por el coche cuando lo impulsamos.
- El tiempo ( $t_d$ ) que tarda el coche en recorrer  $d_{\text{total}}$ .

El coche se para como consecuencia del rozamiento. Sin embargo, el proyectil en el aire no encuentra esta fricción, así que existe una diferencia entre la distancia que recorre el coche y la distancia horizontal que recorre la esfera. Vamos a calcular cual es esta diferencia..

La medida de la altura máxima  $h_{\max}$  nos permite obtener el tiempo que permanece el proyectil en el aire. La relación entre la altura máxima y el tiempo que tarda desde que la alcanza hasta que cae de nuevo es:

$$h_{\max} = \frac{1}{2}gt_h^2 \rightarrow t_h = \left(\frac{2h_{\max}}{g}\right)^{1/2}$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. Al ser este el tiempo en caer, el tiempo total que permanece el proyectil en el aire será el doble.

$$t_{\text{total}} = 2t_h$$

Es importante demostrar este último cálculo a los estudiantes. El proyectil, lanzado a cierta velocidad inicial, asciende hasta que se detiene completamente debido a la aceleración de la gravedad cuyo sentido es opuesto al de la velocidad inicial. Desde que se para completamente hasta que cae de nuevo, el proyectil acelera (positivamente) recorriendo la misma distancia y por tanto alcanzando la plataforma del coche con una velocidad de igual módulo que la velocidad inicial, y por supuesto sentido opuesto.

Ahora necesitamos estimar cual es el valor de la aceleración negativa que reduce la velocidad del coche. Suponiendo ésta uniforme y considerando que:

$$v_{\text{final}} = 0 = v_0 + a \cdot t_d$$

$$d_{\text{total}} = v_0 \cdot t_d + \frac{1}{2}a \cdot t_d^2$$

Obtenemos:

$$a = -\frac{2 \cdot d_{\text{total}}}{t_d^2}$$

La diferencia entre la distancia recorrida por el coche y la distancia horizontal recorrida por el proyectil es:

$$d_{\text{proyectil}} - d_{\text{coche}} = \Delta d = (v_0 \cdot t_{\text{total}}) - \left(v_0 \cdot t_{\text{total}} + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{\text{total}}^2\right) = -\left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{\text{total}}^2\right)$$

Si en la última expresión sustituimos la aceleración y el  $t_{\text{total}}$ .

$$\Delta d = \frac{8 \cdot h_{\max} \cdot d_{\text{total}}}{t_d^2 \cdot g}$$

Sustituyendo valores típicos como  $h_{\max} = 0.25$  m,  $d_{\text{total}} = 2$  m y  $t_d = 15$  s, obtenemos un  $\Delta d$  de 0.018 m, es decir la diferencia entre el espacio recorrido por el coche y el espacio horizontal recorrido por el proyectil tan solo es de 1.8 mm.

### 3.1.2. Termodinámica

#### Leyes de la termodinámica

##### *Fenómeno 1*

Un experimento sencillo que podemos realizar con nuestros estudiantes y que nos servirá para introducir varios conceptos relacionados con la termodinámica, así como alguna de las leyes que en ella se estudian, es el siguiente.

##### Procedimiento

Sobre dos bases similares en apariencia, por ejemplo, del mismo color, pero fabricadas de materiales distintos, por ejemplo, plástico y metal, colocamos dos bloques de hielo, uno en cada base. Habremos escogido los materiales de las bases de modo que un material sea buen conductor del calor mientras otro material es justamente lo contrario, mal conductor del calor. Como ejemplo de materiales malos conductores del calor tenemos la mayoría de plásticos, la madera, el yeso, el cemento o la porcelana entre muchos más. Ejemplos de materiales buenos conductores del calor son en general la mayoría de los metales: cobre, aluminio, acero.

Si dejamos en reposo ambos bloques de hielo en sus correspondientes bases, observaremos que el bloque de hielo colocado sobre la base buena conductora se derretirá rápidamente mientras que el otro bloque, el situado sobre la base de material aislante, comienza a fundirse a una velocidad mucho más lenta.

A continuación, repetimos el experimento pero colocando en contacto con cada base un termómetro que nos indique a qué temperatura se encuentra la base. Pueden anotarse las temperaturas registradas en cada bloque a medida que se ha fundido una cierta cantidad del bloque.

##### Análisis del fenómeno

Los principales conceptos, aunque no los únicos, que tratamos mediante este experimento son los de temperatura y conductividad térmica.

La temperatura es en cierto modo una medida de la energía que poseen los átomos o moléculas de un material. Inicialmente ambos bloques de hielo están a la misma temperatura, cero grados centígrados, y ambas bases con las que se ponen en contacto también, supongamos que están a la temperatura de la habitación. Pues bien, todo sistema aislado, en este caso el sistema bloque de hielo junto con la base que lo soporta, está caracterizado por una misma temperatura. Es decir que cuando el bloque de hielo y la base alcanzan el equilibrio termodinámico se encontrarán a la misma temperatura. Es una forma de enunciar el principio cero de la termodinámica. Siguiendo con el principio cero de la termodinámica, es precisamente este principio el que permite trabajar con escalas de temperaturas, ya que como hacemos de un modo automático en el segundo experimento asociamos la temperatura del termómetro al material que está en contacto con él, la base que sirve de soporte. Es necesario recordar que mientras el hielo aún se está fundiendo el sistema no está en equilibrio termodinámico. Dicho de otro modo, mientras la temperatura del termómetro no es estable, el sistema no está en equilibrio termodinámico.

Centrémonos ahora en el efecto del tiempo. Destaca el hecho de que el trozo de hielo colocado sobre el material buen conductor se derrite antes, es decir la temperatura del bloque de hielo sobre la base conductora aumenta más rápidamente. Preguntemos a nuestros alumnos cómo aumenta la temperatura del trozo de hielo. Inicialmente el trozo de hielo está a menor temperatura que su respectiva base. Es decir, como mencionamos más arriba, las moléculas del trozo de hielo tienen menos energía que las moléculas de la correspondiente base. Al estar en contacto cada base transmite energía al trozo de hielo en forma de calor, así la energía de las partículas que constituyen la base se transmite hasta las correspondientes moléculas de hielo ( $H_2O$ ). Aquellos materiales en los que la energía de unos átomos se comunica con facilidad a los átomos vecinos es un buen conductor térmico. Por el contrario, aquellos materiales en los que la transferencia de energía está dificultada, bien porque las vibraciones atómicas tienen dificultad para propagarse bien porque hay huecos en el interior que impiden esta propagación, son aislantes térmicos.

## **Fenómeno 2**

Vamos a demostrar mediante un sencillo experimento la relación entre la presión y el volumen mientras la temperatura permanece constante, Ley de Boyle.

El experimento se realiza con recipiente estanco por un lado y móvil por el otro a modo de embolo. El recipiente debe tener una escala para poder medir el volumen que encierra el embolo superior en cada momento. Puede construirse este dispositivo a partir de una jeringa de plástico.

### Procedimiento

Mediremos la masa del conjunto del embolo superior móvil.

Medir el diámetro interno del tubo y calcular el área.

Colocar el embolo y anotar el volumen. Calcular la presión dentro del tubo considerando además de la masa, la presión atmosférica.

Añadir masas (de ente 200 y 400 g) anotando los nuevos volúmenes y las correspondientes presiones para cada volumen.

Repetir el paso anterior hasta obtener entre ocho y diez valores diferentes de presión y volumen.

Complementariamente se puede repetir el proceso en un lugar donde la temperatura del aire sea diferente (en el exterior los días de invierno, por ejemplo)

### Análisis

La ley de Boyle describe como el volumen de un gas se reduce al aumentar la presión y viceversa. Este fenómeno es el que observamos en la experiencia descrita.

Si la temperatura se mantiene constante cuando reducimos el volumen la presión aumenta. Podemos entender lo que ocurre si pensamos en lo que le sucede a las moléculas cuando obligamos a que estén contenidas en un menor volumen. En esta situación están obligadas a permanecer más cerca, así que cuando se mueven las colisiones contra la pared del contenedor aumentan de frecuencia y de ahí el aumento de presión.

## **3.1.3. Electromagnetismo.**

### **Magnetismo**

Con relativa facilidad podemos mostrar a nuestros alumnos varios fenómenos que ponen de manifiesto el comportamiento magnético de ciertos materiales así como el propio campo magnético terrestre.

Una simple brújula nos sirve para introducir la interacción magnética de un medio con el campo magnético terrestre. Otra cuestión más compleja es abordar el origen de tal interacción, debida como sabemos a la presencia de partículas cargadas en movimiento. Podemos mostrar la relación entre partículas con carga en movimiento y campo magnético reproduciendo la experiencia de Oersted (Hans Christian Oersted, 1777-1851). Para ello acercaremos un hilo por el que podamos hacer pasar una corriente a una brújula. Se observará claramente que cuando circula corriente a través del hilo la dirección a la cual apunta la brújula se desvía como consecuencia del campo magnético que genera el hilo de corriente.

Otra experiencia que podemos realizar para poner de manifiesto la presencia de un campo magnético añadiendo además información sobre su dirección de propagación en el espacio, es diluir partículas de hierro en un medio líquido. Para lo cual podemos tomar virutas de hierro de algún taller, o bien trocear estropajos hechos de este material, en aceite o glicerina (propanotriol,  $C_3H_8O_3$ ). De este modo al acercar un imán se observará cómo las partículas de hierro se distribuyen a lo largo de la disolución siguiendo las líneas del campo magnético creado por el imán.

### Análisis

Mediante la observación de este fenómeno se puede introducir el concepto de líneas de campo. Las líneas de campo magnético, a diferencia de las líneas de campo eléctrico, son siempre cerradas. De modo que las líneas de campo magnético correspondientes a un imán salen del polo norte y se dirigen hacia el polo sur para atravesar el propio imán y volver a salir por el polo norte de éste.

## **Fuerza Magnética**

En la anterior experiencia hemos observado el efecto que tiene acercar un hilo por el que circula corriente a una brújula, es decir hemos “modificado” el campo magnético que determina la dirección a la cual apunta la brújula mediante una corriente. En nuestro próximo fenómeno mostraremos el efecto que tiene acercar un campo magnético, creado por un imán, a un hilo por el que circula corriente. De este modo si colocamos el hilo por el que circula corriente de tal modo que pueda oscilar como lo haría un péndulo, ver figura, y acercamos un imán observaremos como aparece una fuerza sobre el segmento de hilo, capaz de desviarlo.

### **Análisis**

La fuerza a la que nos referimos, capaz de desplazar el hilo, es la fuerza magnética y queda descrita por la expresión  $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$  Es importante destacar que además de proporcionar el módulo de fuerza que aparece entre el imán y el hilo, podemos comprender la relación vectorial que existe entre las tres magnitudes que intervienen: la dirección del campo magnético, la dirección hacia la que se mueven las cargas y la dirección de la propia fuerza.

### **Ley de Inducción**

Para mostrar los fenómenos relacionados con la inducción electromagnética podemos construir un pequeño motor que funcione con corriente continua con algunos elementos simples. Para ello necesitaremos: Una pila de 4.5 V, hilo de cobre y por supuesto un imán. Existen muchas configuraciones posibles, y en función de la cantidad de materiales que utilicemos podemos conseguir un montaje más o menos elaborado. Es una oportunidad para proponer que los alumnos, trabajando cooperativamente, construyan su propio motor.

Enrollando el hilo de cobre sobre sí mismo varias veces y dejando dos tramos rectos en los extremos y se coloca entre los bornes de la pila permitiendo acercar el imán como se muestra en la figura (x). Debemos retirar el barniz protector del hilo para permitir que circule la corriente a través de él. Sin embargo, si retiramos el barniz completamente el artefacto no funcionará correctamente debido al cambio de dirección del campo creado por la propia espira. Para ello debemos retirar el barniz correspondiente a un solo lado de la espira dejando el otro lado de la espira protegido y por tanto sin posibilidad de permitir el paso de corriente. Este sencillo truco sustituye el uso de escobillas necesarias en los motores reales.

### **Análisis**

La ley de inducción, ley de Faraday, establece que la variación de flujo magnético sobre la espira genera un voltaje entre los extremos de esta espira y por tanto circula corriente. De este modo la corriente inducida en la espira genera en la propia espira un campo magnético (inducido) que se opone a la variación de flujo magnético original. Todo ello queda recogido en la expresión  $fem = -d\phi_m/dt$  conocida como Ley de Faraday en la que el signo negativo, ley de Lenz, expresa el hecho de que la fuerza electromotriz inducida se oponga a la variación de flujo magnético ( $\phi$ ).

## **Bibliografía**

- Aref, H. Hutzler, S. y Weaire, D. (2007). Toying with physics (DOI: 10.1051/EPN:2007010).
- Güémez, J. Fiolhais, C. y Fiolhais, M. (2009). Toys in physics lectures and demonstrations – a brief review. Physics Education 44 (1).
- Bobrowsky, M. Korhonen, M. y Kohtamäki, J. (2014). Using Physics “Gadgets & Gizmos” Phenomenon Based Learning (grades 9-12).
- Perelman, Y. (1936). Física Recreativa Ed. Mir
- <http://www.arborsci.com/>
- Video ballistic car <https://www.youtube.com/watch?v=bzlpvS1DBA>.