



Para citar este artículo, le recomendamos el siguiente formato:

Periago, M. C. y Bohigas, X. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7 (2). Consultado el día de mes de año en:

<http://redie.uabc.mx/vol7no2/contenido-periago.html>

Revista Electrónica de Investigación Educativa

Vol. 7, No. 2

Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería

The Prevalence of Prior Knowledge About Electric Potential, Current Intensity and Ohm's Law in Second-Year Students of Engineering

María Cristina Periago Oliver (*)

Cristina.Periago@upc.es

Xavier Bohigas Janoher (*)

Xavier.Bohigas@upc.es

* Dpt. de Física i Enginyeria Nuclear
Universitat Politècnica de Catalunya

Av. Diagonal 647, 08028
Barcelona, España

(Recibido: 16 de septiembre de 2004; aceptado para su publicación: 20 de junio de 2005)

Resumen

El objetivo del trabajo que se presenta es la evaluación y el análisis de los conocimientos previos sobre los contenidos conceptuales de Teoría de circuitos que tienen los alumnos de segundo curso de Ingeniería Industrial e Ingeniería Química, con la finalidad de

detectar la persistencia de estos conocimientos desde niveles educativos anteriores. Concretamente, nos hemos centrado en los conceptos básicos de potencial eléctrico e intensidad de la corriente, así como la relación fundamental entre ellos, expresada a través de la ley de Ohm. Para detectar las ideas previas de los estudiantes se les ha propuesto un formulario que consta de nueve cuestiones todas ellas relacionadas con los conceptos más básicos de la Teoría de circuitos. Los resultados obtenidos nos confirman la hipótesis principal de la investigación: las ideas previas de los alumnos en el campo de la Teoría de circuitos persisten desde los niveles educativos anteriores hasta el universitario. Hay que destacar que el estudio se ha llevado a cabo en un tipo de población (los estudiantes universitarios), de los cuales no se tiene mucha información en lo que se refiere a sus ideas previas.

Palabras clave: Ideas previas, teoría de circuitos, estudiantes de Ingeniería.

Abstract

The aim of this research was to evaluate and analyse second-year industrial engineering and chemical engineering students' prior knowledge of conceptual aspects of circuit theory. Specifically, we focused on the basic concepts of electric potential and current intensity and on the fundamental relationship between them as expressed by Ohm's Law. In order to find out what the students' alternative conceptions were, we gave them a questionnaire containing nine questions dealing with the most basic concepts of circuit theory. It should be emphasized that there is little information available about the alternative conceptions of the population type investigated in this research (university students).

Key words: Alternative conceptions, circuit theory, engineering students.

Introducción

Una de las líneas de investigación más dinámica en los últimos años, dentro de la didáctica de las ciencias experimentales, es aquella que estudia las ideas previas que poseen los alumnos para la interpretación de los diversos fenómenos antes y después de recibir la enseñanza formal sobre el tema en cuestión (Brown, 1992; Campanario y Otero, 2000; Clement, Brown y Zietsman, 1989; Cohen, Eylon y Ganiel, 1983; Furió y Guisasola, 1999). Esta línea de investigación ha ido evolucionando a lo largo de los años como lo demuestran las diversas recopilaciones bibliográficas sobre el tema (Carrascosa, 1983; Carrascosa, 1985; Gil y Carrascosa, 1992).

Desde siempre los alumnos han dado respuestas equivocadas a las cuestiones planteadas en el aula y, ante este hecho, la respuesta tradicional del profesor ha sido sancionadora. Sin embargo, en los últimos años, estos errores se están contemplando desde otra perspectiva. Como consecuencia de las múltiples investigaciones didácticas, se ha detectado la evidencia empírica de que, antes de llegar a la instrucción formal, los alumnos ya poseen sus propias concepciones sobre los fenómenos naturales y sobre aquello que se les quiere enseñar (Brown, 1992; Clement *et al.*, 1989; Driver, 1983; Suarez, 2001; Wandersee, Mintzes y

Novak, 1994). Esto puede implicar un aprendizaje deficiente de los principales conceptos, principios y modelos científicos que se utilizan para interpretar los fenómenos naturales, sobre todo, si el profesor no presta atención a las ideas previas de sus alumnos, y no las tiene en cuenta cuando programa las actividades de aprendizaje y su actuación en el aula.

Diversos trabajos de investigación han tratado de identificar el origen de las ideas previas. Por una parte, parece que determinados esquemas conceptuales están ampliamente extendidos en todas las culturas y chocan a veces con las correspondientes teorías científicas. Por otra parte, algunas de las ideas previas de los alumnos tienen origen en la experiencia cotidiana. El lenguaje común, con su habitual falta de precisión, así como el uso de analogías defectuosas en el propio ambiente escolar, podrían ser el origen de algunas ideas espontáneas que son reforzadas por aprendizajes inadecuados en el medio social o por los medios de comunicación (Campanario y Otero, 2000; Viennot, 1996).

Quizás el aspecto más preocupante de las ideas previas no sea su existencia, sino su persistencia. Todos los resultados obtenidos hasta el momento muestran la gran resistencia al cambio que presentan las estructuras mentales construidas por los alumnos. Se ha comprobado que raramente la exposición de las ideas científicas “correctas” hace abandonar a los alumnos sus ideas previas, las cuales suelen permanecer inalteradas después de largos periodos de enseñanza y conviven con las ideas científicas. Esto es así incluso después de haber recibido una formación basada en programas específicos para modificar estas ideas previas (Furió y Guisasola, 2001).

El resultado es que los alumnos mantienen dos esquemas paralelos de conocimientos. Por una parte están sus conocimientos académicos sobre fenómenos, teorías, leyes, fórmulas y métodos, que le sirven en el medio escolar para resolver ejercicios y aprobar los exámenes. Por otra, los alumnos mantienen su arsenal de ideas previas, que les son útiles para entender la realidad y para interaccionar con el medio que les rodea. Incluso, es frecuente encontrar estudiantes universitarios y licenciados que han terminado sus carreras y mantienen concepciones erróneas sobre algunos fenómenos científicos (Furió y Guisasola, 1999).

Es importante resaltar que un alumno no asimilará un nuevo esquema conceptual si no es consciente de las posibles limitaciones del que ya posee y si no entiende la necesidad de modificarlo. Por tanto, el aprendizaje significativo de las ciencias no se dará por acumulación de información transmitida, sino por cambio conceptual; esto constituye un proceso semejante al modo cómo se da el progreso científico.

El alumno debe tener, por tanto, conciencia de la necesidad del cambio, si queremos implicarle activamente en la asimilación de los nuevos conceptos y leyes. Para todo ello se hace imprescindible que el alumno conozca cuál es su esquema conceptual y su propio modo de explicar los fenómenos. El cambio

conceptual no debe ser, por tanto, la simple sustitución de un concepto equivocado por otro correcto, sino que el proceso de cambio debe involucrar relaciones entre preconceptos, de modo que todos ellos sean los que entran en crisis y no un concepto aislado. Este proceso de enseñanza y aprendizaje es lo que se denomina enfoque constructivista: los esquemas conceptuales son activamente construidos por el que aprende (Campanario y Moya, 1999; Driver, 1986; Driver y Oldham, 1986). Desde esta perspectiva, el proceso de aprender implica que quien aprende aporta sus *esquemas* o maneras de pensar existentes al enfrentarse a una situación intentando comprenderla. Es necesario entender que esta reestructuración necesaria de ideas y esquemas no tendrá lugar en cortos periodos, sino que puede requerir años, y no de una o dos lecciones. El papel del profesor consiste en situar a sus alumnos frente a problemas para los cuales deban imaginar soluciones, diseñar experimentos de contrastación de las hipótesis, etcétera. Así, podrán seguir una metodología similar a la del trabajo científico y, consecuentemente, construir conocimientos (Driver, 1983). De esta manera, el profesor como elemento provocador del cambio conceptual de sus alumnos, debe conocer cuáles son las ideas previas de éstos para programar las actividades adecuadas que les faciliten el cambio conceptual.

Objetivos del trabajo

El campo de la Física, donde la abundancia de estudios sobre errores conceptuales es mayor es el de la mecánica, sobre todo en la relación entre fuerza y movimiento (Carrascosa, 1985). Otro campo de la Física históricamente menos explorado, pero que es objeto de frecuentes investigaciones didácticas es el de la *Teoría de circuitos*, entendida como los conceptos básicos de intensidad de la corriente eléctrica, diferencia de potencial y resistencia, así como la relación fundamental entre ellos expresada a través de la ley de Ohm. Las concepciones personales de los estudiantes sobre este tema se han investigado desde hace tiempo y todos los estudios realizados concuerdan en un mismo resultado: la existencia de numerosos errores conceptuales en casi todos los niveles educativos (Cohen *et al.*, 1983; Furió y Guisasola, 1999). La gran mayoría de los estudios realizados hasta la fecha han profundizado en las ideas previas de los alumnos de secundaria, pero pocos se han centrado en analizar la presencia de éstas en estudiantes universitarios (Pontes, 1999). Por esta razón, aunque la mayoría de los errores conceptuales en el campo de la Teoría de circuitos ya han sido identificados en estudiantes de secundaria y de bachillerato, se ha creído interesante investigar si éstos persisten en niveles superiores como el universitario, más concretamente en estudiantes de Ingeniería.

Esto nos lleva a formular la hipótesis principal de la investigación: Las ideas previas de los alumnos universitarios en el campo de la Teoría de circuitos persisten desde los niveles educativos anteriores.

La operación de esta hipótesis implica en un primer estadio identificar las ideas previas sobre Teoría de circuitos en los estudiantes universitarios para poder, posteriormente, valorar su persistencia desde los niveles educativos anteriores.

La información obtenida también podrá ser de gran utilidad en un futuro, para diseñar actividades en las que los alumnos aprendan significativamente los esquemas conceptuales correspondientes a la Teoría de circuitos. Este sería un segundo estadio del trabajo que se podría tratar en estudios posteriores basados en los resultados obtenidos aquí.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en un cuestionario realizado por estudiantes de segundo curso de Ingeniería, mediante el cual se intenta conocer las preconcepciones de los estudiantes sobre conceptos fundamentales de la Teoría de circuitos, como son: el potencial eléctrico, la intensidad de la corriente y la ley de Ohm.

Descripción del trabajo

El estudio que presentamos se ha realizado al inicio del curso con cuatro grupos de estudiantes que cursan la asignatura de Electromagnetismo (184 estudiantes en total). Tres grupos son de Ingeniería Industrial y uno de Ingeniería Química, las dos titulaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Ésta es una asignatura troncal obligatoria correspondiente al cuarto cuatrimestre de la titulación en ambos casos. Se debe hacer un énfasis especial en el hecho de que los alumnos que acceden al segundo curso han superado el primero que es selectivo. Ningún alumno puede cursar el tercer cuatrimestre si no ha superado los dos primeros en un período máximo de dos años. En estos dos cuatrimestres correspondientes al primer curso los alumnos han cursado, entre otras, dos asignaturas de Física (Mecánica y Termodinámica) y cuatro de Matemáticas que incluyen Cálculo Diferencial e Integral, así como Álgebra y Geometría. Por otra parte, es necesario resaltar que estos alumnos ya han recibido una instrucción previa en el Bachillerato Unificado Polivalente (BUP) y en el Curso de Orientación Universitaria (COU) sobre los contenidos de Teoría de circuitos que se quieren analizar (son alumnos que han cursado el bachillerato anterior a la implantación de la Ley de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE)).

Así, los alumnos objeto de este estudio pueden ser clasificados dentro de un nivel académico medio-alto. Por una parte, han superado la fase selectiva (sólo un 60% de los estudiantes de primer curso la superan) y, por otra, son alumnos que han superado la prueba de nivel de ingreso que se realiza para acceder a los estudios de Ingeniería (la nota de acceso obtenida en esta prueba ha sido superior a 6.5 sobre 10, en los últimos años).

Para detectar las ideas previas de los estudiantes se les ha propuesto un formulario que consta de nueve cuestiones, todas ellas relacionadas con los conceptos más básicos de la Teoría de circuitos: corriente eléctrica, potencial

eléctrico, intensidad de la corriente, resistencia, asociación de resistencias y ley de Ohm.

Las cuestiones se han elegido de manera que su resolución no consista en la mera aplicación numérica de diversas leyes y procedimientos típicos, si no que pongan de manifiesto las ideas formadas que tienen los estudiantes sobre algunos conceptos, así como las relaciones entre ellos. La mayoría de estas cuestiones ya han sido utilizadas anteriormente por otros autores (Furió y Guisasola, 1999; Hierrezuelo y Montero, 1991; Pontes, 1999; Shipstone, 1984). Esta decisión se ha tomado así para poder comparar, cuando sea posible, los resultados obtenidos de los alumnos universitarios con los obtenidos en otros trabajos que analicen niveles educativos anteriores (bachillerato) o el mismo (universitario). En ambos casos la comparación será útil para investigar la persistencia de las ideas o bien su universalidad.

El formulario con las nueve cuestiones tal como se presentó a los alumnos se encuentra en el Anexo I.

Resultados

Las respuestas obtenidas en cada una de las cuestiones propuestas se presentan de manera detallada en el Anexo II.

Para poder realizar un análisis objetivo hemos clasificado estas respuestas en tres categorías siguiendo el criterio propuesto por otros autores anteriormente (Pontes, 1999):

- La Categoría I es aquella que incluye las respuestas correctas desde el punto de vista de la opinión aceptada por la comunidad científica y que podemos encontrar explicada en libros específicos. Estas respuestas incluyen alguna explicación o justificación en el caso que se pida en el enunciado de la pregunta. Son respuestas que podemos considerar correctas y completas.
- La Categoría II corresponde a aquellas cuestiones que son correctas pero que las respuestas no están justificadas o lo están de una forma poco clara y, en el caso que correspondan a cuestiones cerradas, incluyen alguna incorrección. Son respuestas incompletas.
- La Categoría III incluye las respuestas incorrectas, así como aquellas que resultan difíciles de clasificar debido a su confusión; también aquellas que el alumno no responde.

Atendiendo a esta clasificación hemos recogido los datos de las respuestas de los alumnos en la Tabla I.

Tabla I. Porcentaje de respuestas clasificadas dentro de cada una de las tres categorías definidas

Pregunta o cuestión	Categoría I (%)	Categoría II (%)	Categoría III (%)
Q1	59.2	30.4	10.4
Q2	22.3	41.8	35.9
Q3	15.8	20.1	64.2
Q4	48.9	47.8	3.2
Q5	65.2	29.3	5.4
Q6	57.6	32.0	10.3
Q7	4.3	83.7	12.0
Q8	0.5	79.3	20.1
Q9	1.6	19.0	79.4

4.1. Análisis de las respuestas

Para cada pregunta explicitamos el contenido conceptual o el esquema que el alumno debe utilizar para responder correctamente a la pregunta que se le plantea. Así mismo, se comenta el porcentaje de respuestas incluidas en cada categoría, y las posibles correlaciones con otras respuestas del cuestionario. Si esta cuestión ya ha sido utilizada anteriormente por otros autores en otros trabajos se intentará, siempre que sea posible, comparar los resultados.

Los enunciados de las cuestiones se presentan en el Anexo I.

Q1: El objetivo de esta cuestión es comprobar si el estudiante asocia el hecho de que una bombilla (o *foco*) emita luz con el paso de corriente, además, que el paso de corriente tiene lugar en un circuito cerrado (estamos considerando siempre los regímenes estacionarios, no se tienen en cuenta los transitorios). Así, se presentan tres dibujos (realistas) con una bombilla conectada de tres formas diferentes a una pila. Sólo en un único caso es posible la circulación de corriente eléctrica.

Las repuestas indican que la mayoría de los estudiantes (59.2% de la categoría I más 30.4% de la Categoría II) consideran necesario un circuito cerrado para que circule la corriente y luzca la bombilla. De todas maneras es de destacar que existe casi un 10% de estudiantes (Categoría III) que piensan que una bombilla puede brillar cuando se conecta a un solo polo de una pila. Esta idea corresponde a la imagen de que una pila es como una fuente de agua y, por tanto, sólo necesita un polo para producir corriente. Este punto de vista se ha detectado en alumnos de otros niveles educativos (Cohen *et al.*, 1983), si bien el hecho de que estudiantes de segundo curso de estudios universitarios aún acepten esta interpretación es un indicador de la persistencia de las preconcepciones sobre la corriente eléctrica (García y Rodríguez, 1988).

Q2: Se presenta un circuito sencillo formado por dos pilas (montadas en oposición y de diferente fem) y una bombilla en serie. Con esta cuestión se intenta detectar

si los estudiantes relacionan la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito cerrado con el paso de corriente, es decir, se trata de una aplicación conceptual de la ley de Ohm, que para ellos es conocida. El análisis de las respuestas nos indica, por un lado, que los alumnos interpretan correctamente que dos pilas de diferente f.e.m. conectadas en oposición producen una d.d.p. entre los extremos de la asociación (64.1% en las Categorías I y II); pero destaca por otro lado, un 35.9% que no lo hace (Categoría III). Podemos pensar que algunos de los estudiantes no se hayan fijado que las dos pilas tienen diferente f.e.m. a pesar de que estaba indicado claramente en el dibujo, incluso las pilas se representaron de diferente tamaño para evitar esta posible confusión. Este resultado es similar al presentado por Furió y Guisasola (1999), quienes indicaron que 47% de respuestas a la misma pregunta que nosotros planteamos se refieren a que no hay d.d.p. entre los bornes A y B. Los encuestados fundamentan su respuesta alegando que, puesto que los polos positivos de las pilas están conectados entre sí no hay d.d.p., sin entrar en ningún razonamiento en el que intervenga la f.e.m. de las pilas. De la correlación entre las respuestas que señalan si existe o no d.d.p. entre los puntos A y B, y si hay paso de corriente a través de la bombilla se deduce que los alumnos no relacionan la d.d.p. ente los bornes de las pilas con la circulación de corriente eléctrica. Los consideran, en definitiva, registros conceptuales diferentes. También resaltamos que un alto porcentaje (7.6%) de los encuestados no sabe qué contestar, seguramente por no saber cómo resolver el problema de tener dos pilas conectadas en oposición.

Para la mayoría de los alumnos, 71.2%, queda poco claro que si existe una diferencia de potencial en un circuito se produce el paso de corriente. Un 21.2% que responde que no hay d.d.p. entre los puntos A y B, es posible que no se hayan fijado en el dispositivo o simplemente que consideren que la d.d.p. es nula, pues las pilas están montadas en oposición. De todas maneras sus otras respuestas son coherentes con estas primeras respuestas, pues dicen que no habrá paso de corriente. Dilucidar lo que pensaban e interpretaban este 21.2% de encuestados se debería hacer a partir de entrevistas particulares.

Respecto al paso de corriente, en todas las respuestas incluidas en la Categoría II los estudiantes dicen que sí hay d.d.p. entre los puntos A y B, pero un 35.3% del total afirma que no hay paso de corriente entre dichos puntos. Esto nos indica claramente que estos estudiantes no relacionan la existencia de una d.d.p. entre dos puntos de un circuito con el paso de corriente. Esta confusión está bien descrita en la bibliografía (Hierrezuelo y Montero, 1991) y la constatamos aún en estudiantes universitarios, incluso después de haber cursado la enseñanza en Física, y habiendo superado correctamente (puesto que accedieron a estudios superiores) problemas en los que debían manejar estos conceptos. A pesar de identificar la existencia de d.d.p. entre A y B, un 38% considera que no circula corriente por el conductor C. Esta respuesta está de acuerdo con la idea de que las pilas son fuente de corriente de las cuales mana ésta, de la misma manera que lo hace el agua en una fuente, y que no se necesita que el circuito esté cerrado para que circule corriente por éste (Cohen *et al.*, 1983).

Finalmente, hay que destacar el elevado número de encuestados que corresponden a la Categoría III, un 35.9%.

Q3: Una preconcepción muy arraigada entre la población es la creencia de que la intensidad de corriente en un circuito se va debilitando a medida que circula por éste (Shipstone, 1984). Con el objetivo de detectar esta interpretación se preguntó ¿cuál de las dos bombillas brillaría más? Además se pidió al alumno además que argumentase su respuesta (ver Anexo I). La cantidad de respuestas con una explicación convincente es muy reducida, sólo 15.8% de los encuestados entran en la Categoría I. Si incluimos también las respuestas dentro de la categoría II, un 35.9% responden casi correctamente. Debemos resaltar que 58.2% de los estudiantes piensa que dos bombillas asociadas en serie no brillan de la misma manera, aun sabiendo que son idénticas. Dado que en nuestro caso había una resistencia situada entre las dos bombillas, podemos interpretar estas respuestas con la idea de que la corriente “se gasta” a medida que avanza o cuando atraviesa una resistencia. Esta interpretación viene confirmada con el resultado de la cuestión Q4 en la que un 44% de los estudiantes corrobora que la corriente disminuye a lo largo del circuito.

La idea de que la corriente se "gasta" a través del circuito también aparece en la Q5, en la que 26.6% indica que la corriente que circula por elementos conectados en serie en un circuito no es de la misma intensidad. Se ha dicho en repetidas ocasiones (Hierrezuelo y Montero, 1991) la persistencia de esta idea, incluso después de recibir instrucción específica de Teoría de circuitos. Seguramente la persistencia de esta idea está en la mala comprensión de los conceptos de *intensidad* y de *diferencia de potencial*, en los cuales, normalmente, no se insiste demasiado en la enseñanza y se utilizan simplemente como herramientas para resolver problemas numéricos, más que en realizar análisis cualitativos de diferentes situaciones.

Q4: En esta cuestión se intenta detectar si los estudiantes piensan que es necesario que el circuito esté cerrado para que haya paso de corriente y si la corriente se gasta a lo largo del mismo o no. Ninguna respuesta contempla que una bombilla pueda lucir cuando está conectada a un solo polo de una pila. Esta respuesta no deja de sorprender, pues en la cuestión Q1 se presentaba una situación similar y un 6% pensaba que sí podía lucir la bombilla.

Sólo un 48.9% de las respuestas son correctas. Un 44% insiste en la idea de que la corriente se va gastando mientras avanza a través del circuito, lo cual es bastante acorde con los obtenidos en la cuestión Q3. En el texto de esta respuesta se explicitaba que la corriente sale de un polo y llega a otro polo de la pila menos corriente (ver Anexo I).

Q5: En esta cuestión se analiza un circuito que corresponde al de una linterna de bolsillo, formado por tres pilas y una bombilla asociadas todas ellas en serie. Se intenta saber si los estudiantes creen que pasa corriente por el interior de las pilas y si en una asociación en serie la intensidad se mantiene constante. Se acepta

mayoritariamente (65.2%) que por el interior de las pilas circula corriente. Sólo 4.9% de las respuestas señalan que no habrá corriente a través de ellas. Este resultado lo podemos considerar poco significativo, pero destacamos que 29.3% dan respuestas incompletas, considerando que la intensidad varía a lo largo del circuito. Esta idea se repite en otras cuestiones, como ya hemos comentado.

Q6: El objetivo de esta pregunta y las siguientes era conocer hasta qué punto los estudiantes relacionan las magnitudes de intensidad de corriente, con la diferencia de potencial y resistencia; es decir, si utilizan correctamente la ley de Ohm, desde el punto de vista conceptual. Más de la mitad, 57.6% de las respuestas, asocian correctamente la caída de potencial en aquellos elementos resistivos. Pero un 32% de las respuestas, cantidad importante, no son completamente correctas; las respuestas son difíciles de analizar, pues no parecen que corresponder a ningún criterio. Es sorprendente que cerca de 10% de los estudiantes piense que existe diferencia de potencial entre dos puntos sin resistencia entre ellos, pues la mayoría de los circuitos que han resuelto se suponía que los hilos conductores no tenían resistencia. Esto indica que son alumnos que superaron esta materia sin comprender exactamente qué hacían y se limitaron a utilizar de una forma mecánica la ley de Ohm.

Finalmente, destaca un porcentaje bastante elevado de respuestas que no se pueden clasificar (un 10.3%), lo que nos indica que esta cuestión se debería reformular si queremos obtener una información más valiosa sobre las preconcepciones de nuestros alumnos.

Q7: El aprendizaje de la ley de Ohm basado en su aplicación repetitiva y poco reflexionada creemos que queda de manifiesto en los resultados obtenidos en esta cuestión y los siguientes. Se trata de comparar la brillantez de las bombillas conectadas a una pila, en tres situaciones diferentes: en la primera una única bombilla está conectada a la pila, en la segunda hay dos bombillas asociadas en serie conectadas a la pila y en la tercera la asociación en paralelo de las dos bombillas se conecta a la pila. Sólo 4.3% responde correctamente a las cuestiones que se plantean. La mayoría de las respuestas (83.7%) las podemos asociar con la idea de suponer que la pila es un generador de corriente constante. Por esta razón, no diferencian la brillantez de las bombillas si se ponen una o dos de éstas en serie, entre extremos del generador. Además, consideran que en la asociación en paralelo la intensidad que circula por cada bombilla es menor que en los otros casos. Al considerar que la pila es una fuente de corriente constante, suponen que la intensidad que circula por cada bombilla en la asociación en paralelo será la mitad de la asociación en serie. El razonamiento es correcto, pero basado en una hipótesis de partida falsa. Esta idea ha sido extensamente estudiada y comentada en la bibliografía (Cohen *et al.*, 1983).

Independientemente del error conceptual sobre la pila, destacamos que 25.5% de las respuestas indican que una de las bombillas de la asociación en serie luce más que la otra. Es más, la bombilla que luce más es la que se encuentra más cercana al polo positivo de la pila, lo que nos indica la persistencia en la idea de

que la intensidad de corriente eléctrica va disminuyendo a medida que avanza a lo largo del circuito. Aparentemente, los estudiantes tienen muy claro que la corriente fluye del polo positivo al negativo, pues no hemos encontrado ninguna respuesta que dé un brillo mayor a la bombilla que está más alejada del polo positivo, aspecto que ya hemos comentado al analizar las cuestiones Q4, Q5 y Q6.

La mayoría de las respuestas (58.2%) aceptan la constancia de la intensidad de corriente a lo largo del circuito, aunque no son capaces de relacionar la brillantez de las bombillas en los diferentes circuitos. Esto lo interpretamos como incapacidad para aplicar correctamente la ley de Ohm en estas tres situaciones para conocer la intensidad que circula por cada bombilla. Esta incapacidad puede sorprender si se tiene en cuenta que son alumnos que han superado cursos de Física en los que debían resolver problemas utilizando la ley de Ohm; pero este caso se aleja del típico problema en el que se les dan valores conocidos y se les pide que determinen algún otro valor. En este caso, por el hecho de facilitar el valor de uno de los datos del problema, estamos dando la información al alumno de que este valor es una constante. Esto le permite resolverlo satisfactoriamente, a pesar de que no haya aprendido significativamente los conceptos y las leyes necesarios para su resolución. Esta es una consecuencia de la enseñanza basada en la resolución numérica de problemas, sin atender demasiado, o de una manera superficial, la comprensión conceptual del problema que se quiere resolver.

Podemos considerar que los estudiantes no utilizan correctamente la ley de Ohm en de esta cuestión y que basan su resolución aplicando la analogía del modelo hidrodinámico de la corriente eléctrica.

Q8: Los resultados de esta cuestión corroboran lo dicho anteriormente. La mayoría de los estudiantes (79.9%) responden correctamente a la primera parte de la cuestión. De hecho, es un simple ejercicio de aplicación de la ley de Ohm, de los más habituales que se presentan a los alumnos de enseñanza secundaria cuando estudian el tema de la corriente eléctrica. Esto nos indica que recuerdan cómo resolver *problemas de la ley de Ohm* con asociación de resistencias. Y no nos ha de extrañar, teniendo en cuenta que la encuesta realizada se llevó a cabo con alumnos de segundo curso de Ingeniería en una escuela cuya nota de acceso es superior a los 6.5 puntos sobre 10, es decir, que son estudiantes de nivel medio-alto.

Los resultados en la segunda parte de la cuestión son completamente diferentes. Sólo un estudiante de los 184 (0.5%) responde correctamente. Parece que los otros intentan resolver la cuestión de forma intuitiva, basándose en razonamientos a partir de la corriente; es decir, siguen pensando que la pila es una fuente de corriente. Por esta razón, 65.2% dicen que la bombilla B1 lucirá de la misma manera. Si el razonamiento lo iniciasen suponiendo que la d.d.p. entre los extremos de la pila es constante, obtendrían resultados diferentes. Otro dato a resaltar es que realizan un análisis del circuito, de forma que consideran cada elemento que lo integra como un elemento independiente dotado de unas

características propias y que no dependen de las modificaciones del resto de elementos del circuito. Por esta razón, un 46.2% considera que al desconectar la bombilla B3 la intensidad que circula por la bombilla B1 es la misma y, por tanto, brilla de la misma manera que en la situación anterior y que toda la corriente que llega ahora a la bifurcación B2 con B3, puesto que no existe la bombilla B3, pasa por B2 y, por tanto brillará más en esta situación que en la anterior.

Q9: Es interesante resaltar que 27.2% responde que la d.d.p. entre los puntos D y E es cero. Podemos aventurar que la idea de los alumnos al escoger esta respuesta se basa en el hecho de considerar que si entre dos puntos no hay ningún componente eléctrico, la d.d.p. entre ellos es nula. Corresponde a una interpretación topológicamente errónea del circuito a estudiar. Los problemas de este tipo se han estudiado anteriormente (Cohen *et al.*, 1983; Pontes, 1999). Un 22.3% cree que la d.d.p. se mantiene igual que antes de desconectar la bombilla. Sólo un 1.6% (3 alumnos sobre 184) respondieron correctamente. El porcentaje de respuestas correctas obtenidas en este cuestionario difiere de los estudios publicados anteriormente (Cohen *et al.*, 1983), donde se indica que 15% de alumnos de secundaria y sólo 4% de profesores en ejercicio respondían correctamente. También se indica que la opción preferida por los alumnos fue, con un 45%, la que decía que la d.d.p. entre los puntos D y E era nula; mientras que los profesores, en un 48%, escogían mayoritariamente la opción en la que se decía que V_{DE} se mantenía constante. En nuestro estudio los porcentajes de las respuestas en las que se dice que $V_{DE} = 0$ o $V_{DE} = cte$ son muy parecidos: 22.3% y 27.2%, respectivamente. Estos resultados aparentemente están alejados de los publicados en los otros trabajos, pero debemos tener en cuenta que en nuestro caso hay 26.1% de respuestas no contestadas y un 22.8% difíciles de analizar. Estos dos porcentajes representan un 48.9% de la población. Por tanto, si tenemos únicamente en cuenta las respuestas de las que se puede obtener información clara, el porcentaje de las respuestas de nuestro estudio correspondientes a las respuestas $V_{DE} = 0$ y $V_{DE} = cte$ se asemejan a los comentados más arriba.

Podemos concluir que la aplicación de la ley de Ohm no ha sido aprendida de forma significativa, pues aunque la sepan utilizar en determinadas situaciones, no parece que sepan aplicarla en situaciones algo diferentes a las más habituales en los ejercicios que deben resolver en su periodo de instrucción.

Conclusiones e implicaciones para la enseñanza

El análisis detallado de las respuestas dadas a las diversas cuestiones planteadas en el cuestionario confirma la presencia de algunos errores conceptuales. Los más destacados son:

- *La pila es una fuente de corriente que suministra las cargas que se mueven a través del circuito.* Esta idea, muy común en primaria y secundaria, aún

- persiste a nivel universitario, aunque en menor grado. Queda reflejada en la Q1 con 9.3% y en la Q2 con un 38% de respuestas que se basan en esta idea.
- *La pila proporciona siempre la misma corriente independientemente del circuito al que esté conectada.* Esta idea se refleja en casi todas las cuestiones que se han planteado, de hecho, es una idea recurrente que aparece en prácticamente todos los razonamientos de los alumnos. Las cuestiones donde esta idea se presenta de manera más evidente son la Q7, con un 83.7%, y la Q8, con un 65.2%.
 - *La corriente que suministra la pila “se gasta” a medida que circula por el circuito.* Esta idea se confirma por las respuestas dadas por los alumnos, en las siguientes cuestiones: 58.2% en la Q3, 44% en la Q4 y 26.6% en la Q5.
 - *La diferencia de potencial es una consecuencia del flujo de corriente, no su causa.* Esta idea se refleja, sobre todo, en la Q6, donde 32% confunde la dependencia entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial.
 - *Aplicación incorrecta de la ley de Ohm.* Tal como queda reflejado en la mayoría de las respuestas de este cuestionario, y en particular en las cuestiones Q3, Q6, Q7, Q8 y Q9.

Estos errores conceptuales, presentes en alumnos universitarios que inician el estudio del electromagnetismo en Ingeniería, van a dificultar el aprendizaje significativo de la Teoría de circuitos. Si recordamos que estos alumnos ya han recibido una instrucción previa en el bachillerato, podemos confirmar la hipótesis principal de la investigación: que los preconceptos persisten fuertemente, ya que estas ideas previas se han detectado en estudiantes antes de recibir instrucción en el área de la Física (Shipstone, 1984).

¿Por qué son tan resistentes al cambio las ideas previas de los alumnos? La respuesta debe estar relacionada tanto con la naturaleza de las ideas previas, así como con el tipo de enseñanza recibida que debería cambiarlas. Entre los factores de tipo psicológico podemos destacar que los alumnos tienen tendencia a considerar únicamente las pruebas que confirman sus hipótesis, en lugar de buscar aquellas que le ayudarían a falsearlas. Tienen tanta confianza en sus hipótesis que no se preocupan de verificarlas.

Otros factores que ayudan a la persistencia de las ideas previas están relacionados con la forma como se desarrollan las clases, es decir, en el sistema utilizado en la enseñanza. En primer lugar, la gran mayoría de profesores desconoce las ideas previas de sus alumnos, por lo que le es imposible diseñar las actividades necesarias para superarlas. De la misma manera, los métodos de evaluación no analizan la existencia de preconceptos ni el grado de superación de los mismos, como lo demuestra el hecho de que los estudiantes que aprueban con buenas notas mantengan las mismas ideas que sus compañeros.

Con frecuencia, los alumnos se inician en el estudio de la electricidad de manera muy teórica, teniendo pocas oportunidades de manipular y poner en funcionamiento circuitos y montajes eléctricos. En muchas ocasiones, el estudio de la electricidad se hace de manera rápida y superficial, basado principalmente

en cálculos numéricos, desaprovechando las múltiples oportunidades que brinda este tema para el razonamiento y la libre exploración (Furió y Guisasola, 1998).

Atendiendo a los resultados obtenidos en nuestro estudio, enumeramos algunas ideas que pueden mejorar el aprendizaje significativo de los conceptos más básicos de la Teoría de circuitos, en los cuales nos hemos centrado en este trabajo:

- *La necesidad de que el circuito esté cerrado para que funcione.* La utilización por parte de los alumnos del modelo unipolar está relacionada con el papel que asignan a la pila: si la pila lo que hace es dar electricidad, es lógico que sólo se necesite un polo de la misma para que la corriente llegue hasta el elemento donde se consume. Para combatir este error los alumnos deberían concebir el circuito como un todo, como un sistema en el que todos los elementos están relacionados entre sí. Sería beneficioso insistir también en que todo elemento que se coloque en un circuito deberá tener siempre un borne de entrada para la corriente y un borne de salida.
- *La pila no es una fuente de corriente.* La idea de que la pila es una *fuentes de corriente constante* aparece, como se ha demostrado, en niveles universitarios. Se debería dejar bien claro que la d.d.p. es la variable independiente del problema, mientras que la intensidad depende de ella. Esta dependencia se ve oscurecida por el uso habitual que se hace de la ley de Ohm, la cual se suele escribir como: $V_A - V_B = R I$. Nosotros creemos que sería más adecuado presentarla como:

$$I = \frac{(V_A - V_B)}{R}$$

Matemáticamente no hay diferencia, pero físicamente sí: en la segunda forma queda claro que I depende del valor de V , y no al revés. Algunos autores proponen introducir el voltaje como concepto primario en los circuitos de corriente continua y describen con detalle la secuencia a seguir (Psillos, Koumaras y Tiberghien, 1988; Röneck, 1985).

- *Distinción entre fuente de tensión y fuente de corriente.* Para ello sería útil analizar diferentes circuitos alimentados por una fuente de corriente y circuitos alimentados por una fuente de tensión. Analizando las semejanzas y las diferencias ayudaríamos a los alumnos a entender que una pila es una fuente de tensión, no un fuente de corriente.
- *La corriente no es sinónimo de energía.* Esta sería la idea subyacente al error que persiste de que la corriente se va gastando a medida que circula por el circuito. Parece claro que esta idea está originada por el mal uso del lenguaje cotidiano y, si tenemos en cuenta que el alumno no tiene muy clara la naturaleza de la corriente eléctrica, es fácil que aplique esta idea al análisis de los circuitos que se le propongan. En este punto se debería recurrir a la explicación microscópica de la corriente eléctrica e insistir en el principio de conservación de la carga. También podría ser útil realizar diversas mediciones de la intensidad de la corriente en diferentes puntos del circuito serie, para apoyar la idea de que la intensidad es la misma en todos los puntos.

- *Evitar el razonamiento secuencial.* El concepto del circuito eléctrico como un todo nos ayudaría a combatir otra idea errónea muy común: cualquier variación en un elemento de un circuito sólo afecta a los elementos situados detrás de él. Se debería observar que el efecto de situar un determinado elemento en un punto u otro del circuito serie no depende del orden en el que esté colocado dentro de éste.
- *Insistir en el manejo conceptual del potencial y la intensidad.* Para ellos sería interesante analizar diferentes circuitos de forma cualitativa, con el fin de evitar que el alumno aplique la ley de Ohm de forma mecánica e irreflexiva.

Parece claro que uno de los puntos débiles del método de enseñanza utilizado comúnmente es la poca importancia que se le da a los razonamientos cualitativos sobre la interdependencia de las magnitudes eléctricas presentes en los circuitos.

Se insiste mucho en la aplicación matemática de la ley de Ohm, pero no se profundiza en su análisis cualitativo desde el punto de vista físico. Para intentar remediar esta carencia sería interesante ayudarnos de las posibilidades que nos ofrecen las nuevas tecnologías, en forma de programas de aprendizajes autónomos e interactivos, experimentos virtuales de Física mediante *applets*, ejercicios de simulación a través de internet, etcétera (Bohigas, Jaén y Novell, 2003; Clinch y Richards, 2002; Hisano y Utges, 2000).

Referencias

Bohigas, X., Jaén, X. y Novell, M. (2003). Applets en la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), 463-472.

Brown, D. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: Factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (1), 17-34.

Campanario, J. M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 155-169.

Campanario, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 155-169.

Carrascosa, J. (1983). Errores conceptuales en la enseñanza de las Ciencias: Selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 63-65.

Carrascosa, J. (1985). Errores conceptuales en la enseñanza de la Física y Química: Una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 230-234.

Clement, J., Brown, D. E. y Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions [Número especial]. *International Journal of Science Education*, 11, 554-565.

Clinch, J. y Richards, K. (2002). How can the Internet be used to enhance the teaching of physics? *Physics Education*, 37 (2), 109-114.

Cohen, R., Eylon, B. y Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51 (5), 407-412.

Driver, R. (1983). *The pupil as scientist?* Milton Keynes, Reino Unido: Open University Press.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.

Driver, R. y Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82 (4), 511-526.

Furió, C. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en Electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de la Ciencias*, 17 (3), 441-452.

Furió, C. y Guisasola, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de la Ciencias*, 19 (2), 319-334.

García, J. L. y Rodríguez, C. (1988). Ideas previas, esquemas alternativos, cambio conceptual y el trabajo en el aula. *Enseñanza de la Ciencias*, 6 (2), 161-166.

Gil, D. y Carrascosa, J. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 314-327.

Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1991). *La ciencia de los alumnos*. Málaga: Editorial Elzevir.

Hisano, J. y Utges, G. (2000, 27 de agosto -1 de septiembre). *Simulation about electric field and potential. A study of its effectiveness in the construction of conceptual models*. Trabajo presentado en el PHYTEB, International Conference on Physics Education, Barcelona.

Pontes, A. (1999). *Aportaciones al estudio de las concepciones de los estudiantes sobre electromagnetismo y sus implicaciones en la didáctica de la Física*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Córdoba.

Psillos, D., Koumaras, P. y Tiberghien, A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits. *International Journal of Science Education*, 10 (1), 29-34.

Röneck, C. V. (1985). The introduction of voltage as an independent variable, the importance of preconceptions, cognitive conflict and operation rules. En R. Duit, W. Jung y C. V. Röneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity, in Proceedings of an International Workshop on Problems Concerning Students' Representation of Physics and Chemistry Knowledge September 1981* (pp. 275-286). Kiel: Verlag Schmidt & Klaunig.

Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6 (2), 185-198.

Suárez, L. (2001). El valor de la intuición en el aprendizaje de la Física. *Revista Española de Física*, 15 (4), 48-50.

Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique*. Bruselas: De Boeck & Larcier.

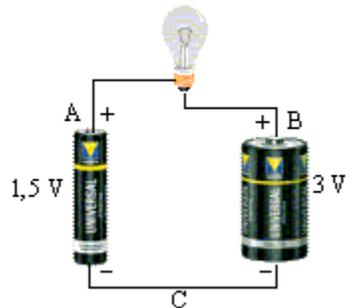
Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. y Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning: A project of the National Science Teachers Association* (Cap. 5, pp. 177-210). Nueva York: Macmillan.

Anexo I

Q1. Di si lucirá la bombilla en las siguientes situaciones. Indica con una flecha por dónde circula la corriente eléctrica.



Q2. Disponemos de dos pilas y una bombilla conectadas según se indica en la figura.



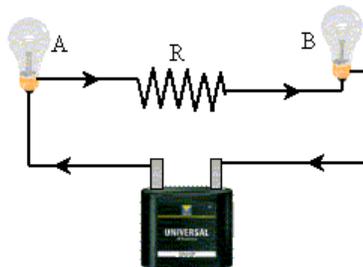
S

No

No lo sé

- | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a) ¿Hay diferencia de potencial entre los puntos A y B? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) ¿Circula corriente por la bombilla? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) ¿Circula corriente por el cable C? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Q3. En el circuito de la figura tenemos una pila, dos bombillas A y B iguales, y una resistencia R intercalada entre las dos bombillas.



Indica cuál de las siguientes situaciones se producirá y da una pequeña explicación.

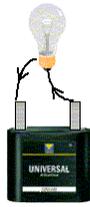
- a) La bombilla B lucirá más que la A.
- b) Las dos bombillas lucirán igual.
- c) La bombilla A lucirá más que la B.

Q4. De las situaciones siguientes di cual explica correctamente lo que sucede con la corriente eléctrica:

- a) La corriente sale de un polo de la pila y se consume en la bombilla.
- b) La corriente sale de un polo de la pila, pasa por la bombilla y vuelve menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.
- c) La corriente sale por un polo de la pila, pasa por la bombilla, y entra la misma corriente por el otro polo.
- d) La corriente sale de los dos polos de la pila y se consume en la bombilla.



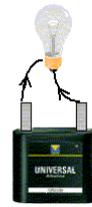
a)



b)



c)



d)

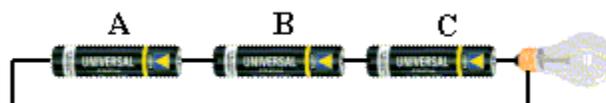
Q5. En el interior de una linterna hay tres pilas situadas tal como se indica en la figura. Cuando encendemos la linterna y la bombilla luce:

a) ¿Hay corriente a través de las pilas?

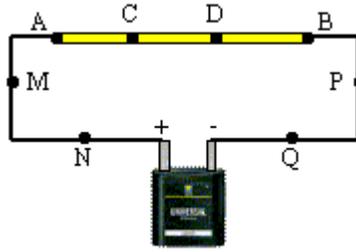
sí no

b) Si es así ¿a través de que pila pasa más corriente?

A B C todas la misma corriente



Q6. Disponemos de una barra metálica AB con resistencia, conectada a una pila mediante dos cables conductores sin resistencia.

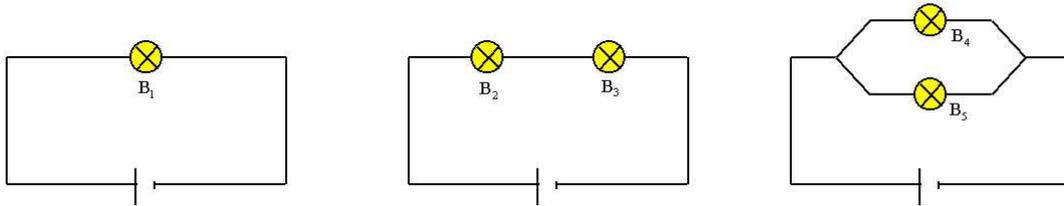


¿Hay diferencia de potencial entre las parejas de puntos que se indican a continuación?

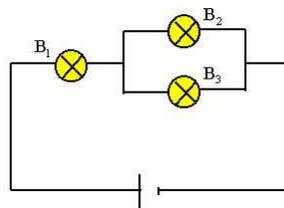
- a) entre A y B sí no
- b) entre C y D sí no
- c) entre M y N sí no
- d) entre P y Q sí no

Q7. En los siguientes circuitos todas las bombillas y las pilas son iguales.

¿Qué bombillas lucirán más? ¿Qué bombillas lucirán menos? Ordénalas de más a menos.



Q8. En el siguiente circuito todas las bombillas son iguales.



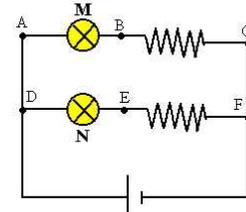
- a) ¿Qué bombillas lucirán más?
- b) ¿Qué bombillas lucirán menos?

Desconectamos la bombilla B3 del circuito y no ponemos nada en su lugar.

c) ¿La bombilla B2 lucirá más, menos o igual que antes?

d) ¿Y la bombilla B1?

Q9. Tenemos un circuito formado por una pila, dos bombillas M y N, y dos resistencias. Si desconectamos la bombilla N y no ponemos nada en su lugar, explica:



a) ¿Cómo variará la d.d.p. entre los puntos D y E?

b) ¿Cómo variará el brillo de la bombilla M?

(Comenta las variaciones respecto a la situación inicial, cuando la bombilla N estaba conectada).

Anexo II. Respuestas obtenidas en cada una de las cuestiones

Cuestión 1

Respuesta	Frec.	
Luce la segunda bombilla e indica flechas correctamente	109	59.2%
Luce la segunda bombilla pero no indica flechas	34	18.5%
Luce la segunda bombilla pero sólo indica corriente de ida	13	7.1%
Luce la segunda bombilla pero las flechas no son claras	9	4.9%
No luce la segunda bombilla y lucen las otras	11	6.0%
No contesta	6	3.3%
Otras respuestas no clasificables	2	1.1%

Cuestión 2

Respuesta	Frec.	
Hay d.d.p. entre A y B, corriente en la bombilla y en el cable C	41	22.3%
Hay d.d.p. entre A y B, corriente en la bombilla, pero en el cable C no	12	6.5%
Hay d.d.p. entre A y B, pero no hay corriente en la bombilla ni en el cable C	58	31.5%
Hay d.d.p. entre A y B, no hay corriente en la bombilla, pero en el cable sí	7	3.8%
No hay d.d.p. entre A y B, ni corriente en la bombilla y en el cable C	39	21.2%
No contesta nada	14	7.6%
Otras respuestas no clasificables	13	7.1%

Cuestión 3

Respuesta	Frec.	
Las dos bombillas lucen igual (con explicación clara)	29	15.8%
Las dos bombillas lucen igual (con explicación parcial o poco clara)	7	3.8%
Las dos bombillas lucen igual (sin explicación)	30	16.3%
La bombilla A luce más que la B	107	58.2%
No contesta	9	4.9%
Otras respuestas no clasificables	2	1.1%

Cuestión 4

Respuesta	Frec.	
La corriente se mantiene constante al pasar por la bombilla	90	48.9%
La corriente se gasta al pasar por la bombilla	81	44.0%
La corriente sale de los dos polos y muere en la bombilla	7	3.8%
La corriente sale de un polo y muere en la bombilla	0	0.0%
No contestan	3	1.6%
Otras respuestas no clasificables	3	1.6%

Cuestión 5

Respuesta	Frec.	
La corriente a través de las pilas es la misma para las tres	120	65.2%
La corriente a través de las pilas va disminuyendo	49	26.6%
Hay corriente a través de las pilas, pero no saben como es	5	2.7%
No hay corriente a través de las pilas	9	4.9%
No contestan	1	0.5%

Cuestión 6

Respuesta	Frec.	
Hay d.d.p. entre puntos de la barra metálica, en los cables exteriores no.	106	57.6%
Sólo hay d.d.p. entre A y B, entre el resto de puntos no.	32	17.4%
Hay d.d.p. entre todos los puntos de la barra y de los cables exteriores	12	6.5%
No hay d.d.p. entre los puntos de la barra, en los cables no contestan.	7	3.8%
No hay d.d.p. entre ningún punto del circuito	8	4.3%
No contestan	12	6.5%
Otras respuestas no catalogables	7	3.8%

Cuestión 7

Respuesta	Frec.	
$B1 = B4 = B5 > B2 = B3$	8	4.3%
$B1, B2 = B3, B4 = B5$ (sin especificar la relación entre los tres circuitos)	107	58.2%
$B1, B2 > B3, B4 = B5$ (sin especificar la relación entre los tres circuitos)	47	25.5%
Otras respuestas no catalogables	18	9.8%
No contestan	4	2.2%

Cuestión 8

Respuesta	Frec.	
$B1 > B2 = B3$. Al desconectar B3, B2 luce más y B1 menos	1	0.5%
$B1 > B2 = B3$. Al desconectar B3, B2 luce más y B1 igual	85	46.2%
$B1 > B2 = B3$. Al desconectar B3, B2 y B1 lucen más	10	5.4%
$B1 > B2 = B3$. Al desconectar B3, B2 y B1 lucen igual	35	19.0%
$B1 > B2 = B3$. Al desconectar B3 no saben qué pasa	16	8.7%
Otras respuestas no catalogables	25	13.6%
No contestan	12	6.5%

Cuestión 9

Respuesta	Frec.	
La bombilla M luce igual y la d.d.p. entre D y E aumenta	3	1.6%
La bombilla M luce igual y la d.d.p. entre D y E se mantiene igual	16	8.7%
La bombilla M luce igual y la d.d.p. entre D y E pasa a ser cero	19	10.3%
La bombilla M luce más y la d.d.p. entre D y E se mantiene igual	25	13.6%
La bombilla M luce más y la d.d.p. entre D y E pasa a ser cero	22	12.0%
La bombilla M luce menos y la d.d.p. pasa a ser cero	9	4.9%
Otras respuestas no catalogables	42	22.8%