

# Energía eléctrica en circuitos simples de corriente continua. Análisis macroscópico y microscópico realizado por estudiantes universitarios

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Electric energy in simple direct current circuits. Macroscopic and microscopic analysis of university students

Sandra Velazco<sup>1</sup> y César Medina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales e IML – UNT, Miguel Lillo 205, CP 4000, San Miguel de Tucumán, Tucumán. Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Av. Independencia 1800, CP 4000, San Miguel de Tucumán, Tucumán. Argentina.

E-mail: svelazco@herrera.unt.edu.ar

(Recibido el 12 de junio de 2019; aceptado el 23 de agosto de 2019)

## Resumen

El objetivo del trabajo es estudiar la comprensión alcanzada por estudiantes de carreras de ingeniería, sobre procesos que sufre la energía en circuitos simples de corriente continua. La metodología constó de una primera etapa "exploratoria" de características más cualitativas, que permitió enunciar hipótesis de trabajo. En una segunda etapa, de índole más cuantitativa, se elaboraron y administraron a los estudiantes cuestionarios escritos, a fin de contrastar experimentalmente las hipótesis formuladas. La investigación muestra, por una parte, que muchos alumnos no interpretan adecuadamente ciertos intercambios energéticos desde un punto de vista macroscópico. Por otra parte, también se advierte que no relacionan o relacionan incorrectamente interpretaciones macroscópicas y microscópicas de los procesos que sufre la energía en el circuito. Se sugieren posibles razones para las incomprensiones detectadas; entre ellas, la escasez de bibliografía sobre el tema, la utilización de modos de razonamiento no científicos, la no diferenciación entre las etapas transitoria y estacionaria por las que atraviesa el circuito, o bien la no discriminación entre análisis macroscópicos y microscópicos.

**Palabras clave:** Energía; Circuito resistivo; Análisis macroscópico; Análisis microscópico.

## Abstract

The work objective is carried out a study about the comprehension achieved by undergraduate engineering students concerning energy processes in simple DC circuits. The methodology used in the research consisted of a first "exploratory" stage of more qualitative characteristics, which allowed us to state working hypotheses. In a second stage, of a more quantitative nature, written questionnaires were developed and administered to the students in order to experimentally test the formulated hypotheses. The research shows, on one hand, that many students do not adequately interpret some energy exchanges on a macroscopic basis. On the other hand, it also shows that they do not link (or they incorrectly link) macroscopic and microscopic interpretations of the processes that energy undergoes in the circuit. Possible reasons are suggested for the detected mistakes; among them, the shortage of bibliography on the subject, the use of non-scientific modes of reasoning, the poor differentiation between the transitory and stationary stages that the circuits undergo, or the lack of discrimination between macroscopic and microscopic analysis.

**Keywords:** Energy; Resistive circuit; Macroscopic analysis; Microscopic analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las perspectivas científica y educativa comparten un reconocimiento generalizado y explícito sobre la importancia de los tratamientos energéticos de los fenómenos físicos (Doménech y otros, 2003).

Sin embargo, la potencia y la fertilidad de un enfoque energético de los fenómenos van acompañadas de una gran profundidad y complejidad conceptuales, que subyacen a los algoritmos y procedimientos que se utilizan para calcular cantidades asociadas a la energía ya los procesos inherentes a ella (Warren, 1982). Este panorama permite anticipar dificultades de aprendizaje y de enseñanza.

El trabajo que aquí presentamos forma parte de una investigación más amplia, en la que analizamos la comprensión alcanzada por estudiantes universitarios, en el marco de la Física clásica, sobre la noción de energía eléctrica.

El marco teórico general que guía la investigación se encuadra dentro de una orientación constructivista del aprendizaje. Muy brevemente, entre sus hipótesis centrales podemos mencionar aquí las siguientes (Gil Pérez, D. y otros, 1999; Martínez Torregrosa, 2005; Nola e Irzik, 2005):

1. Quien aprende construye significados. El individuo dota a las entidades cognoscibles de características subjetivas. Los estímulos externos son interpretados en términos de las propias ideas y herramientas intelectuales. En efecto, el aprendiz elabora no sólo sus propias representaciones de la realidad, sino también, de modo interrelacionado, los instrumentos intelectuales necesarios para esa construcción. Las tesis psicológicas constructivistas son contrarias a la idea de que las conceptualizaciones puedan ser “trasvasadas” del profesor a los alumnos. Según el modo de conocer que le es propio a la mente humana, un aprendizaje comprensivo se lograría privilegiando la activa participación del aprendiz durante la enseñanza, propiciando la reflexión y el análisis.

2. El conocimiento es de naturaleza sistémica. Los conceptos se organizan en la mente de un individuo de acuerdo a una estructura jerárquica, resultante de los procesos a través de los cuales adquiere y utiliza el conocimiento. Comprender algo supondría relacionar la nueva información a conceptualizaciones relevantes, ya existentes en la estructura cognitiva del aprendiz. El nuevo contenido podría ser aprendido y retenido en la medida en que fuera integrado en forma sustantiva al complejo organizado de ideas del individuo. La sistematización otorgaría al conocimiento mayor estabilidad, resistencia al olvido y capacidad para enfrentar nuevas situaciones. Además de su integración a los esquemas mentales preexistentes, un aprendizaje comprensivo se traduciría también en un crecimiento, cambio y aun posiblemente en una radical modificación de la estructura cognitiva y las estrategias intelectuales, si los nuevos conocimientos son contradictorios con lo que el alumno ya sabe.

3. Todo aprendizaje depende de conocimientos previos. El aprendiz no reproduce literalmente lo que lee o se le enseña, por el contrario, integra el nuevo conocimiento a su estructura cognitiva, atribuyendo significados. El individuo “interpreta” la nueva información en términos de las herramientas conceptuales, metodológicas y axiológicas que posee, seleccionando, elaborando el sentido y organizando las informaciones recibidas. A su vez, las nuevas adquisiciones se traducirían en un reajuste de las estructuras preexistentes. Lo que el alumno ya sabe desempeñaría un papel preponderante durante el aprendizaje. Por tanto, un modelo eficiente para la enseñanza de las ciencias debería tener en cuenta el conjunto de conocimientos conceptuales, de metodologías, valoraciones y actitudes con que el estudiante llega a la universidad.

La perspectiva constructivista reconoce la utilización de ideas, estrategias y representaciones alternativas a las científicas, por parte de los estudiantes. Estos conocimientos parecen surgir como resultado de la interacción del individuo con el medio físico y social que lo rodea, así como de la instrucción previa en el área, y son “alternativos” en el sentido de que muchas veces difieren de los que propone la ciencia. Este conjunto de saberes no científicos no parece ser modificado significativamente por una enseñanza habitual basada en la transmisión verbal de conocimientos. Modelos de enseñanza y aprendizaje superadores consideran imprescindible tener en cuenta estos aspectos durante el proceso de instrucción formal.

El análisis de antecedentes muestra que muchos estudiantes manifiestan especiales dificultades para comprender nociones científicamente correctas sobre los tratamientos energéticos y utilizan ideas de sentido común sobre la energía para resolver situaciones problemáticas planteadas durante la enseñanza formal. Estas dificultades son comunes a estudiantes de distintas edades y contextos socio culturales (Pozo y Gómez Crespo, 2001).

Se han realizado diversos estudios sobre preconcepciones y presentado propuestas educativas tendientes a superar las distintas dificultades detectadas. Sin embargo, estos planteamientos, en general, consideran interpretaciones energéticas centradas en fenómenos mecánicos y/o termodinámicos. Además, están destinadas, en su gran mayoría, al nivel primario o secundario, prestando especial atención a las relaciones entre ciencia, técnica y sociedad (por ejemplo, Domínguez y Stipcich, 2010; Hernández Abenza, 2008; Hierrezuelo Moreno y Molina González, 1990; López Alcantud, 2007; Ramos y otros, 2017). Se han encontrado unos pocos estudios sobre la energía en el nivel universitario, también, en su mayoría, referidos a fenómenos mecánicos y/o térmicos (por ejemplo, Ameneiro y Mora, 2010; Gutierrez-Berraondo y otros, 2018; Michinel Machado y D’Alessandro Martínez, 1992; Perrotta y otros, 2009; Pintó, 1991).

A su vez, se registra que las investigaciones educativas sobre una interpretación energética de fenómenos eléctricos son, comparativamente, mucho más escasas. En el nivel de enseñanza media, algunas propuestas toman la energía como concepto unificador para organizar la enseñanza de distintos tópicos de Física, entre ellos los eléctricos (por ejemplo, Pérez Landazábal y otros, 1995; Solbes, 2007; Solbes y

Tarín, 2004). A nivel universitario básico, algunos investigadores han propuesto (Cudmani y Fontdevila, 1990) y otros han controlado experimentalmente (Gutiérrez y otros, 2007) planear los contenidos de cursos básicos sobre electricidad y magnetismo tomando el concepto de energía como eje estructurador.

También a nivel universitario, algunos estudios sobre electrostática que muestran dificultades de los estudiantes consideran, entre otros conceptos básicos del área, el de energía potencial eléctrica (Velazco y Salinas, 2001; Sandoval y Mora, 2009). En el ámbito de la electrodinámica, se han observado dificultades para relacionar las ideas de fem y diferencia de potencial, con las de trabajo y energía potencial eléctrica, respectivamente (Garzón y otros, 2014).

Cabe mencionar, aunque el interés principal de estos trabajos no esté enfocado en la idea de energía, los estudios referidos a la enseñanza y el aprendizaje de circuitos eléctricos de corriente continua (probablemente, el tema más investigado en el área de la electricidad). Los resultados muestran, entre otros aspectos, que muchos estudiantes manifiestan grandes dificultades para analizar circuitos eléctricos simples en forma cualitativa (por ejemplo, Cohen y otros, 1983; Millar y Lim Beh, 1993; Shipstone, 1984).

Algunos autores atribuyen las incomprensiones detectadas al analizar el comportamiento macroscópico de los circuitos a que los estudiantes no relacionan esos fenómenos con procesos microscópicos vinculados a ellos (Eylon y Ganiel, 1990; Guisasaola 2014). Se han publicado (unos pocos) textos y materiales de enseñanza que enfatizan la utilización de modelos microscópicos en la explicación de fenómenos eléctricos (Chabay y Sherwood, 1995). A nivel universitario básico, se han realizado estudios que indican mejores resultados en las respuestas de los estudiantes cuando la enseñanza aborda explícita y sistemáticamente, procesos microscópicos subyacentes a fenómenos electrodinámicos observables (Thacker y otros, 1999).

Por otra parte, el análisis de la bibliografía muestra que, en general, los libros de texto no utilizan el concepto de energía como un vínculo unificador entre diferentes ramas de la Física, sino que, muchas veces se lo introduce en cada área de conocimiento de manera parcial e incompleta (Sevilla Segura, 1986; Cokelez y Yoromezoglu, 2009). Además, los textos emplean comúnmente explicaciones energéticas para abordar fenómenos mecánicos o termodinámicos, mientras que son poco usuales las interpretaciones de otros tipos de comportamientos naturales, entre ellos los eléctricos (Sandoval y Mora, 2009).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en una investigación educativa que analiza la comprensión alcanzada por estudiantes universitarios sobre interpretaciones macroscópicas y microscópicas de procesos que sufre la energía en circuitos simples de corriente continua, y se sugieren posibles razones para las incomprensiones detectadas.

## II. HIPÓTESIS DE TRABAJO, METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### A. Enunciación de hipótesis generales y operativización de hipótesis

A partir de la experiencia docente, el marco teórico adoptado y de diversas aproximaciones sistematizadas a las ideas de los estudiantes, realizadas a lo largo de cuatro períodos lectivos, se arribó a una posible estructura de sus representaciones conceptuales, que aquí se presenta como una hipótesis general de trabajo y sus correspondientes hipótesis derivadas.

La hipótesis general de trabajo afirma que:

H) “Un alto porcentaje de estudiantes tiene dificultades para interpretar y relacionar intercambios energéticos desde un punto de vista macroscópico y microscópico”.

A partir de este enunciado podemos derivar las siguientes consecuencias experimentalmente controlables:

H<sub>A</sub>) “Un alto porcentaje de alumnos interpreta incorrectamente intercambios energéticos desde un punto de vista macroscópico, en un circuito simple de corriente continua”.

H<sub>B</sub>) “Un alto porcentaje de alumnos relaciona incorrectamente o ignora relaciones entre interpretaciones macroscópicas y microscópicas de los procesos que sufre la energía en un circuito simple de corriente continua”.

### B. Metodología general de trabajo y diseño experimental utilizado para controlar las hipótesis

Con respecto a la metodología de trabajo, en nuestra investigación recogemos aspectos, que consideramos relevantes para el problema tratado, provenientes tanto de un enfoque cualitativo como cuantitativo (Hernández y otros, 2006). La definición del marco metodológico respondió, entre otros importantes criterios, por una parte, a la factibilidad de las técnicas empleadas. Por otra parte, se consideró también la adecuación de las estrategias de indagación a las características particulares y estado de conocimiento del problema abordado (Coll, 1988).

La investigación se realizó sin haber encontrado antecedentes sobre el tema específico tratado, a pesar de que se procuró efectuar una revisión bibliográfica amplia y exhaustiva. Cabe señalar que el análisis de la literatura no permitió, por sí solo, definir claramente el problema ni enunciar hipótesis de trabajo en forma precisa. Por otra parte, no se hallaron en la bibliografía instrumentos de medición que pudieran aplicarse directamente o adaptarse para obtener evidencia empírica pertinente al problema abordado.

Detectadas las condiciones iniciales de la investigación, se evidenció la necesidad y relevancia de desarrollar una primera etapa “exploratoria” de características más cualitativas y de cuyos resultados dependería la posterior evolución de la pesquisa. Las estrategias empleadas durante esta primera fase de la investigación presentan cierta similitud con algunos aspectos de la técnica cualitativa de “inducción analítica”, desarrollada para el estudio de fenómenos sociales. Cuando se utiliza esta técnica “*se examinan los datos en busca de categorías de fenómenos y de relaciones entre ellas[...] se desarrollan hipótesis de trabajo a partir de los casos iniciales, que posteriormente van siendo modificadas con la aparición de casos nuevos*” (Borobia, 2004).

El proceso desarrollado en esta fase del estudio se apoyó en diferentes elementos que interactuaron fuertemente entre sí. Como aspectos centrales podemos mencionar:

1. El intercambio verbal y la interacción diaria con los estudiantes, durante las clases de laboratorio de Física, que propició una “inmersión en el campo” (Villani y Pacca, 1994). En efecto, observaciones cualitativas y no estructuradas, centradas en la noción de energía eléctrica, favorecieron una primera aproximación a las ideas de los alumnos.

2. El análisis de antecedentes, que incluyó la revisión de distintos aportes que permitirían conformar el marco teórico y metodológico, entre ellos, investigaciones educativas referidas, algunas, a la noción de energía y otras, al área de la electricidad. El estudio bibliográfico incluyó también una profundización, desde el punto de vista científico, sobre una perspectiva energética de fenómenos físicos en general y electro-cinéticos en particular.

3. La elaboración de cuestionarios preliminares que fueron administrados a los estudiantes durante las evaluaciones de laboratorio. La administración de estos cuestionarios y el análisis de sus resultados constituyeron “experiencias piloto”, que, entre otros aspectos, permitieron detectar dificultades de redacción, ambigüedad o imprecisiones que serían tenidas en cuenta en la posterior confección del cuestionario definitivo planteado a los alumnos.

La interacción y realimentación entre los aspectos antes mencionados favoreció una inmersión gradual en el problema investigado y la progresiva definición del mismo, redundando en una enunciación, cada vez más precisa, de un conjunto de hipótesis tentativas (Villani y Pacca, 2001), así como en la elaboración del cuestionario definitivo administrado a los estudiantes.

En una segunda instancia de contrastación, de enfoque más cuantitativo, se administraron los enunciados elaborados y se procesaron los resultados obtenidos.

Se empleó una muestra de 95 estudiantes de segundo año de carreras de ingeniería de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Todos los alumnos interrogados cumplían con los requisitos académicos necesarios para cursar la asignatura de Física en la que se desarrollan contenidos de electricidad y magnetismo. A fin de constituir una muestra lo suficientemente amplia se incluyeron alumnos de cuatro ciclos lectivos diferentes (años 1, 2, 3 y 4).

La instrucción recibida por los estudiantes correspondió a las características habituales en ciclos básicos de ingeniería y consistió en clases teóricas, sesiones teórico-prácticas de resolución de problemas, y realización de experiencias de laboratorio.

Los cuestionarios elaborados durante la investigación fueron administrados a los estudiantes como parte de evaluaciones regulares de laboratorio, durante el cursado de la asignatura. Estas condiciones elegidas para la recolección de datos tendieron a favorecer un mayor compromiso y una mayor dedicación, por parte de los estudiantes, en la elaboración de sus respuestas y justificaciones a las preguntas planteadas.

Las pruebas debían responderse por escrito e individualmente y podían resolverse a “libro abierto”, es decir que los estudiantes podían consultar, durante la evaluación, libros de la biblioteca del laboratorio de Física. Entre los ejemplares disponibles podían encontrar textos de Física de uso habitual en ciclos básicos de carreras de ingeniería.

Cabe señalar que los estudiantes no manifestaron dificultades de comprensión de las consignas solicitadas en los problemas planteados. Ellos consistieron en preguntas sencillas, pero conceptualmente relevantes. Fueron planeadas con la intención de que no pudieran ser respondidas simplemente transcribiendo algunas frases de un texto o apelando a un aprendizaje memorístico, sino a partir de recursos conceptuales y estrategias de resolución de los mismos estudiantes.

Además de los problemas que aquí se transcriben y que son pertinentes para este trabajo, cada evaluación incluía preguntas y/o cálculos específicos sobre la práctica realizada en el laboratorio. Esto permitió

contextualizar las preguntas de interés para la investigación en contenidos que ya habían sido analizados teóricamente y abordados experimentalmente por los alumnos.

La realización de experiencias piloto contribuyó a otorgar validez a los enunciados. Por otra parte, la misma se controló a través del análisis de distintos integrantes del grupo de investigación, expertos en Investigación Educativa en Ciencias (Hernández y otros, 2006).

La confiabilidad de los enunciados se controló a través de la triangulación obtenida por la contrastación de una misma hipótesis a través de distintas situaciones problemáticas (Hernández y otros, 2006).

El análisis de datos, identificación de categorías y clasificación de respuestas de acuerdo a ellas, fue realizado, en una primera instancia, por uno de los investigadores del equipo. Luego, en cada etapa de la investigación, fueron discutidos con los otros participantes de la pesquisa.

En el apéndice se presentan los tres problemas que fueron propuestos a los alumnos. Como se explica allí, los problemas 1 y 2 formaron parte de evaluaciones sobre “Medición de resistencias”, mientras que el problema 3 se planteó en el contexto de una evaluación sobre la práctica de “Efecto Hall”. En los dos primeros enunciados, los alumnos debían decidir si la energía cedida por una fuente de tensión continua es entregada totalmente a las resistencias del circuito resistivo puro o si parte de ella se cede también a los electrones de conducción. En el último problema, los estudiantes debían explicar si la energía entregada por la fuente de tensión continua es cedida en su totalidad (o en parte) a los electrones de conducción, a un bobinado capaz de almacenar energía magnética y/o a las resistencias del circuito.

### **III. INTERCAMBIOS ENERGÉTICOS PRODUCIDOS EN EL CIRCUITO**

Consideremos un circuito formado por una pila de tensión continua, cables de conexión y una resistencia. Cuando se cierra el circuito podemos discriminar una etapa transitoria en la que, como consecuencia de acciones no conservativas originadas por reacciones químicas que ocurren en la pila, se realiza trabajo sobre algunos electrones de conducción estableciendo una distribución de cargas en los electrodos y en la superficie de los conductores que constituyen el circuito exterior a la fuente (Thacker y otros, 1999). Una vez establecida, esta distribución de cargas se mantiene durante el régimen estacionario (Matar y Welti, 2009; Chabay y Sherwood, 1999).

La distribución superficial de carga que se establece crea, en régimen estacionario, una diferencia de potencial entre los bornes de la fuente y un campo eléctrico conservativo en el espacio interior y exterior al circuito. En el interior del circuito, el campo es paralelo a los conductores, su sentido es opuesto al de la corriente dentro de la batería e igual al de la corriente en los conductores conectados a ella.

Microscópicamente, cada portador de carga, cuyo movimiento está vinculado a la circulación de corriente, adquiere una energía potencial eléctrica dentro de este campo eléctrico, de valor “ $q \cdot V$ ”, donde “ $V$ ” designa el potencial eléctrico en un punto del circuito, medido desde algún punto arbitrario tomado como referencia (Welti, 2005).

Durante el período transitorio, las fuerzas no conservativas producidas por la batería también realizan trabajo sobre los portadores, modificando su velocidad media desde cero hasta el valor de régimen y originando la corriente eléctrica. En régimen estacionario las cargas se mueven a lo largo del circuito a una velocidad de arrastre constante, por lo tanto, su energía cinética media permanece constante.

En régimen estacionario, y en presencia de resistencia eléctrica en el circuito, la pila continúa realizando trabajo sobre los portadores y mantiene la circulación de corriente. En efecto, cuando los electrones de conducción atraviesan la fuente, las fuerzas no conservativas realizan trabajo sobre ellos (Guisasola y otros, 2005). Esto permite que los portadores ganen energía potencial eléctrica en una cantidad “ $q \cdot \Delta V$ ” (donde  $\Delta V$  es la diferencia de potencial entre bornes), al desplazarse en contra de las fuerzas electrostáticas asociadas al campo eléctrico conservativo que actúa dentro de la pila. Cuando los portadores se desplazan en el circuito externo a la fuente, lo hacen a favor de la fuerza electrostática conservativa y disminuyen su energía potencial eléctrica en la misma cantidad, debido a la transferencia de energía a las resistencias del circuito, a través de los choques con los iones de la red cristalina. La descripción microscópica muestra que las cargas en circulación actúan como “intermediarias” para la transferencia de energía entre la fuente y la resistencia. Señalemos que, en ausencia de resistencia eléctrica, el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas sobre los portadores produciría un aumento de su energía cinética media originando un cortocircuito.

Considerando el régimen estacionario, mientras que, desde un punto de vista microscópico, toda la energía suministrada por la fuente es transferida a los electrones de conducción, desde un punto de vista macroscópico, la energía cedida por la fuente es transferida en su totalidad a las resistencias. En este último tipo de abordaje se considera el efecto simultáneo tanto de aquellos portadores que aumentan su energía potencial eléctrica en la fuente como de aquellos que la disminuyen en la resistencia y no se contempla la evolución temporal de cada portador. Desde un punto de vista macroscópico, la energía elec-

tromagnética asociada a las distribuciones de carga y corriente presentes en el circuito puede expresarse en función de los campos eléctrico y magnético generados por esas fuentes de campo. El flujo de energía desde la fuente hacia la resistencia puede explicarse, a su vez, a partir de esos campos, utilizando el Teorema de Poynting (Welti, 2005).

Señalemos, por otra parte, que, en un circuito formado por una fuente, una resistencia y un bobinado (como el del problema 3), en estado estacionario (que corresponde a la situación que los estudiantes analizaron teóricamente y trabajaron experimentalmente en clase), la corriente es constante. Por lo tanto, la energía magnética almacenada por el bobinado no cambia y el circuito se comporta como resistivo puro. Es decir que, en el estado estacionario, también en este caso, toda la energía cedida por la fuente se transfiere macroscópicamente a las resistencias.

## IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Control experimental de la hipótesis $H_A$

Recordemos que la hipótesis  $H_A$  afirma que “Muchos alumnos no interpretan adecuadamente intercambios energéticos desde un punto de vista macroscópico, en un circuito simple de corriente continua”.

Para esta contrastación se interrogó un total de 95 alumnos distribuidos de la siguiente forma: 65 que respondieron al problema 1, 13 al problema 2 y 17 al problema 3.

Se consideró conveniente agrupar las respuestas a los tres problemas en un solo procesamiento. Los resultados se muestran en la tabla I.

**TABLA I.** Respuestas obtenidas al controlar experimentalmente la Hipótesis  $H_A$

Respuestas que consideran que la energía cedida por la fuente no se entrega en su totalidad a las resistencias	30	32 % del total	45 % de los que responden
Respuestas que consideran que la energía cedida por la fuente se entrega en su totalidad a las resistencias	31	33 % del total	47 % de los que responden
Respuestas que no permiten controlar la hipótesis	5	5 % del total	8 % de los que responden
No responden	29	30 % del total	

#### A.1. Respuestas que consideran que la energía cedida por la fuente no se entrega en su totalidad a las resistencias

Un 32 % del total o 45 % de los que brindan respuesta, considera que la energía cedida por la fuente no se entrega en su totalidad a las resistencias del circuito.

Muchos de estos estudiantes explican que la energía que cede la fuente se entrega en parte a los electrones de conducción y en parte a las resistencias. Algunos consideran que si bien la fuente entrega energía a los electrones de conducción, ésta es despreciable: “...es muy poca la absorción de los electrones ya que son muy pequeños”. Otros explican “...la energía entregada por la fuente no se transfiere totalmente a las resistencias, parte de esa energía es absorbida por los electrones de conducción”, “la energía que entrega la fuente se reparte tanto en trabajo realizado sobre los electrones como en calor producido en la resistencia”, “la energía no es cedida totalmente a las resistencias, se gasta energía para transportar electrones de un lugar a otro”. Así, estos alumnos no comprenden que, macroscópicamente, la energía entregada por la fuente es cedida en su totalidad, a las resistencias. Los estudiantes que brindan este tipo de respuesta podrían considerar incorrectamente que los electrones necesitan energía para mantener su movimiento independientemente de la presencia de resistencia.

Otros estudiantes mencionan que la energía entregada por la fuente se reparte entre las resistencias y otros elementos del circuito. Así, explican que

*...la fuente debe suministrar la energía para producir el campo magnético, aparte de la utilizada por las resistencias”, “la energía cedida por la fuente no es la misma que se entrega a las resistencias porque la mayor parte se va con los electrones de conducción a otros elementos del circuito y así produce otros efectos útiles como trabajo eléctrico, medición [en el amperímetro y voltímetro], etc.*

Este tipo de respuesta parece manifestar un razonamiento de tipo secuencial (Pozo y Gómez Crespo, 2001) que podría atribuirse en este caso a una no discriminación entre una visión macroscópica y una microscópica: los intercambios macroscópicos de energía se tratan incorrectamente, como si ocurrieran sucesivamente a través del tiempo, tal como ocurre con los electrones que incrementan su energía potencial en la fuente y luego la disminuyen en la resistencia. En otras respuestas, unos pocos estudiantes con-

sideran, en el problema 3, que toda la energía cedida por la fuente se almacena como energía magnética en el bobinado: "...los 12,0 J que la fuente entrega en cada segundo son para generar el campo magnético en las bobinas. Una porción despreciable de esta energía se disipará en los cables por calentamiento Joule". Tanto estas respuestas, como aquellas que reparten la energía cedida por la fuente entre la resistencia y las bobinas, parecen considerar que es necesario ceder energía al bobinado para mantener el campo magnético y podrían presentar, al igual que aquellas que reparten la energía entre resistencia y electrones de conducción, cierta similitud con razonamientos espontáneos detectados en dinámica según los cuales es necesario aplicar una fuerza para mantener el movimiento de un cuerpo (Viennot, 1979).

Se ha registrado, también en mecánica, que algunos alumnos manifiestan que se debe transferir energía a un cuerpo para moverlo a velocidad constante (Pintó, 1991). Como sabemos, afirmaciones de este tipo contradicen la primera ley de Newton. En efecto, un cuerpo sobre el que no actúan fuerzas puede moverse a velocidad constante. Por lo tanto, el cuerpo puede tener un movimiento uniforme sin suministro de energía, ya que no se realiza trabajo sobre él.

Por otra parte, las respuestas incluidas en esta categoría podrían manifestar también que los estudiantes no diferencian las etapas transitoria y estacionaria por las que pasa el circuito. Como ya hemos mencionado, en el período transitorio la fuente transfiere energía tanto a las resistencias como a los electrones de conducción (que a su vez representan las fuentes del campo magnético) modificando su energía cinética media desde cero hasta el valor de régimen.

## A.2. Respuestas que consideran que la energía cedida por la fuente se entrega en su totalidad a las resistencias

Un 33 % del total de alumnos o 47 % de los que responden considera que la totalidad de la energía entregada por la fuente es cedida a las resistencias. Sin embargo, la mayor parte de estos estudiantes no justifica su respuesta. Señalemos que una explicación científicamente correcta a los interrogantes planteados requeriría vincular el análisis macroscópico de la energía en el circuito a uno microscópico. Este aspecto se controló en la siguiente hipótesis,  $H_B$ .

## B. Control experimental de la hipótesis $H_B$

Recordemos que esta hipótesis afirma que "Muchos alumnos no relacionan o relacionan incorrectamente interpretaciones macroscópicas y microscópicas de los procesos que sufre la energía en un circuito simple de corriente continua".

Para esta contrastación también se utilizaron las 95 respuestas a los problemas 1, 2 y 3, que también se agruparon en un solo procesamiento. Las categorías identificadas se presentan en la tabla II.

TABLA II. Respuestas obtenidas al controlar experimentalmente la Hipótesis  $H_B$

Respuestas que no relacionan o relacionan incorrectamente las interpretaciones macroscópica y microscópica de la energía	51	54 % del total	77 % de los que responden
Respuestas que relacionan correctamente las interpretaciones macroscópica y microscópica de la energía	6	6 % del total	9 % de los que responden
Respuestas que no permiten controlar la hipótesis	9	9 % del total	14 % de los que responden
No responden	29	30 %	

## B.1. Respuestas que no relacionan o relacionan incorrectamente las interpretaciones macroscópica y microscópica de la energía

Un 54 % del total de alumnos o un 77 % de los que responden, no relacionan o relacionan de un modo incorrecto o incompleto las descripciones macroscópica y microscópica de los procesos que sufre la energía en el circuito eléctrico simple (Eylon y Ganiel, 1990), a pesar de que, como ya hemos mencionado al controlar  $H_A$ , una respuesta científicamente correcta a las cuestiones planteadas exigiría explicitar el vínculo entre estas descripciones, así como el rol de los electrones de conducción como intermediarios para la transferencia de energía entre la fuente y las resistencias.

En esta categoría se incluyen respuestas que consideran, correctamente, que toda la energía cedida por la fuente se transfiere a las resistencias, pero no mencionan en sus justificaciones el rol de los electrones de conducción como intermediarios para la transferencia de energía, a pesar de que el enunciado de los problemas menciona explícitamente a los electrones. Por ejemplo: "Sí estoy de acuerdo [en que toda la energía cedida por la fuente se entrega a las resistencias] porque los elementos conectados a la fuente disipan energía en forma de calor",

*De acuerdo a la ley de Kirchoff, la tensión suministrada por la fuente debe ser igual a la suma de las caídas de tensión en las resistencias del circuito [y como consecuencia], la energía suministrada por la fuente debe ser igual a la consumida por los restantes componentes del circuito.*

Ninguna de estas respuestas establece un vínculo entre una descripción macroscópica y una microscópica.

En esta categoría se incorporan también, por una parte, tanto las respuestas que afirman incorrectamente que la energía entregada por la fuente se reparte entre las resistencias y otros elementos del circuito como aquéllas que consideran erróneamente que la energía cedida por la fuente se transfiere totalmente al bobinado para producir el campo magnético. Estas respuestas ignoran también a los electrones de conducción y por lo tanto tampoco establecen un vínculo entre las descripciones macroscópica y microscópica.

Por otra parte, en esta categoría se incluyen también respuestas que consideran que la energía entregada por la fuente se reparte entre las resistencias y los electrones de conducción. Si bien estos alumnos reconocen a los electrones de conducción como portadores de energía, la gran mayoría no identifica explícitamente esa energía con la cedida a las resistencias. Sólo unos pocos estudiantes parecen considerar a los electrones como intermediarios para la transferencia de energía, pero suponen que no entregan a las resistencias toda la energía cedida por la fuente, por ejemplo: “...la fuente entrega energía a los electrones y no llega la misma energía a las resistencias del circuito”.

## **B.2. Respuestas que relacionan correctamente las descripciones macroscópica y microscópica de la energía**

Sólo 6 estudiantes de la muestra brindan respuestas que establecen correctamente un vínculo entre las descripciones macroscópica y microscópica explicando, por ejemplo, que “Los electrones, al circular por el conductor van chocando con los núcleos atómicos y eso es lo que produce la energía disipada en forma de calor, la cual es igual a la entregada” o bien

*Los electrones de conducción llevan la misma energía que va a los elementos de cada circuito, no es que haya energía de más ya que la fuente sólo entrega una cierta cantidad de energía y ésta es la que se cede al sistema, o sea no hay energía extra en los electrones de conducción.*

## **V. CONCLUSIONES**

Las hipótesis formuladas parecen verificarse a partir de la evidencia empírica obtenida. Podemos señalar dos aspectos que podrían incidir significativamente en los resultados observados en este estudio. Por una parte, como ya hemos mencionado, el análisis de la bibliografía muestra que, en los libros de texto de uso común en ciclos básicos universitarios, son poco usuales las interpretaciones energéticas de fenómenos eléctricos. En el ámbito de la investigación educativa se han encontrado, comparativamente, pocos trabajos que analicen el tema en profundidad. Por lo tanto, ni estudiantes ni docentes cuentan con un apoyo bibliográfico suficientemente desarrollado, al que puedan recurrir en caso de considerarlo necesario. Por otro lado, nuestra investigación, en consonancia con estudios realizados por otros autores, muestra la utilización, por parte de los estudiantes, de modos de razonamiento alternativos a los científicos. Como ya hemos mencionado, de acuerdo a una orientación constructivista del aprendizaje, un individuo no reproduce literalmente lo que se le enseña, sino que lo interpreta de acuerdo a sus propias herramientas intelectuales. Así, un porcentaje importante de alumnos no comprende que, desde un punto de vista macroscópico y en estado estacionario, la energía cedida por la fuente se transfiere totalmente a las resistencias del circuito.

Entre los modos de razonamiento no científicos utilizados podemos mencionar la creencia de que la fuente necesita suministrar energía, además de la cedida a las resistencias, para mantener el movimiento de los electrones, el campo magnético producido por corrientes constantes o la desviación de las agujas de los instrumentos de medición. Los alumnos parecen no comprender que, en ausencia de resistencia, la fuente no necesitaría suministrar energía al circuito para mantener las condiciones del régimen estacionario, del mismo modo que, en dinámica, no es necesaria una fuerza resultante sobre un cuerpo para mantener su movimiento uniforme.

Se ha detectado también que los intercambios macroscópicos de energía (entre la fuente y componentes del circuito como resistencias, bobinas e instrumentos de medición) se tratan incorrectamente, como si ocurrieran sucesivamente a través del tiempo, tal como sucede con los electrones que incrementan su energía potencial en la fuente y luego la disminuyen en la resistencia. Esto podría manifestar una no discriminación entre un análisis macroscópico y uno microscópico.

Algunas de las respuestas expresadas por los estudiantes podrían deberse, también, a una falta de diferenciación entre las etapas estacionaria y transitoria, en la que una parte de la energía cedida por la fuente se invierte en establecer la corriente en el circuito.

Por otra parte, porcentajes muy importantes de estudiantes no relacionan interpretaciones macroscópicas y microscópicas, o las relacionan incorrectamente. Muchos alumnos no establecen ningún vínculo entre el comportamiento macroscópico y microscópico de la energía en el circuito, a pesar de que los problemas propuestos mencionan tanto intercambios macroscópicos de energía, como también a los electrones de conducción. Algunos ignoran el rol de los electrones de conducción, ya que sus respuestas ni siquiera los mencionan. Otros parecen desconocer el papel de los electrones ya que explican que absorben parte de la energía entregada por la fuente, pero no la vinculan a la cedida a las resistencias. Unos pocos parecen reconocer que los electrones transfieren energía desde la fuente hasta las resistencias, pero consideran incorrectamente que los electrones se quedan con parte de la energía cedida por la fuente.

En síntesis, muchos estudiantes parecen no comprender intercambios energéticos en el circuito simple desde un punto de vista macroscópico y microscópico, así como la relación entre ellos.

Investigaciones realizadas por otros autores muestran, también, que la comprensión de relaciones entre aspectos macroscópicos y microscópicos de un mismo fenómeno presenta dificultades para los estudiantes. Así, por ejemplo, se detectan fuertes inconsistencias entre concepciones sobre corriente eléctrica y la estructura de los conductores asociada a la idea de átomo y cargas eléctricas (Pacca y otros, 2003).

También se advierte que, aunque son interrogados explícitamente, muchos estudiantes no vinculan los fenómenos macroscópicos que tienen lugar en un circuito eléctrico con procesos microscópicos cuya descripción requiere de conceptualizaciones introducidas en el estudio de la electrostática. De este modo, términos como “fuerza” o “campo eléctrico” están ausentes en las explicaciones de los estudiantes. Sólo una pequeña minoría puede relacionar los conceptos de la electrostática con variables macroscópicas necesarias para el análisis de los circuitos eléctricos (Eylon y Ganiel, 1990).

A partir del análisis de antecedentes y de los resultados obtenidos en nuestro trabajo, advertimos la necesidad y relevancia de investigaciones que profundicen en un análisis científico de una interpretación energética de fenómenos eléctricos. Este tipo de material sería útil para el desarrollo de estrategias educativas superadoras de las dificultades detectadas y podría resultar valioso para orientar discusiones cualitativas con los estudiantes. En consonancia con una perspectiva constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje, consideramos que la activa participación de los alumnos, la reflexión y el análisis sobre el concepto de energía y los procesos vinculados a ella podrían favorecer la superación de los modos de razonamiento no científicos detectados. Consideramos que sería fructífera una clara explicitación de diferencias y relaciones entre un abordaje macroscópico y uno microscópico. Ambos tipos de desarrollo pueden complementarse y propiciar una mejor comprensión de los comportamientos naturales involucrados. Un tratamiento macroscópico describe globalmente el comportamiento del sistema, teniendo en cuenta causas netas y efectos netos. Por otra parte, un análisis microscópico requiere la introducción de modelos representacionales que expliquen el funcionamiento interno del sistema y puede proveer una interpretación más profunda del problema tratado.

También debería prestarse especial atención a la discriminación entre las etapas transitoria y estacionaria por las que atraviesa el sistema, así como a un análisis detallado de cada una de ellas. Hemos realizado algunos avances en este sentido (Velazco y Salinas, 2014). En próximas publicaciones informaremos sobre otros resultados obtenidos en ese campo de investigación en enseñanza de la Física.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a Julia Salinas, quien dirigió la Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias (Área Física) de la cual, en el presente trabajo, se informan algunos resultados.

## REFERENCIAS

- Ameneyro, H. y Mora, C. (2010). Cuaderno de mediación de significados para la enseñanza del concepto de energía mecánica. *Latin American Journal of Physics Education*, 4(3), 756-773.
- Borovia, R. (2004). La hipótesis en estudios cualitativos. El caso de la inducción analítica en una investigación sobre adolescencia, *Revista Pilquen*, Sección ciencias sociales, 15(6), 1-12.
- Chabay, R. y Sherwood, B. (1999). *Electric and magnetic interactions*. New York: J. Wiley & Sons.

- Cohen, R., Eylon, B. y Ganiel, V. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: a study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412.
- Cokelez, A. y Yorumezoglu, K. (2009). Conceptualization of "electricity, electric current and electrical energy" by junior high school (aged 12-14) students. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 496-504.
- Coll, C. (1988). *Conocimiento psicológico y práctica educativa*. Buenos Aires: Barca Nova.
- Cudmani, L. C. de y Fontdevila, P. (1990). Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 215-222.
- Doménech, J. L., Gil-Pérez, D., Gras, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumpeter, R. y Valdés P. (2003). La Enseñanza de la Energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(3), 285-311.
- Domínguez M. y Stipcich M. (2010). Una propuesta didáctica para negociar significados acerca del concepto de energía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 75-92.
- Eylon B. S. y Ganiel U. (1990). Macro – micro relationship: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. *International Journal of Sciences Education*, 12(1), 19-94.
- Garzón, I., De Cock, M., Zuza, K., van Kampen, P. y Guisasola, J. (2014). Probing university students' understanding of electromotive force in electricity. *American Journal of Physics*, 82(1), 72-79.
- Gil Pérez, D., Furió-Más, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez Torregrosa, J. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.
- Guisasola, J. (2014). Teaching and Learning Electricity: The Relations Between Macroscopic Level Observations and Microscopic Level Theories. En Matthews, M.R. (Ed.), *Teaching about Thermal Phenomena and Thermodynamics: The Contribution of History and Philosophy of Science*. Dordrecht: Springer.
- Guisasola J., Montero A. y Fernández M. (2005). Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto olvidado en la enseñanza de la electricidad: la fuerza electromotriz. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 47-60.
- Gutiérrez, E., Perrotta, M., Dima, G., Capuano, V., Botta, I. y Follari B. (2007). El concepto unificador de la energía en un curso de electromagnetismo. Resultados de un pretest y posttest. Cohorte 2007. *Latin American Journal of Physics Education*, 4(1), 153-159.
- Gutierrez-Berraondo, J., Zuza, K., Zavala, G. y Guisasola, J.(2018). Ideas de los estudiantes universitarios sobre las relaciones trabajo y energía en Mecánica en cursos introductorios de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(1), 1-7.
- Hernandez Abenza L. (2008). La enseñanza de la energía desde la óptica de la convergencia europea: Una propuesta para la formación del profesorado de educación primaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 241-252.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio P. (2006). *Metodología de la investigación*, cuarta edición. México: McGraw-Hill.
- Hierrezuelo Moreno J. y Molina González E. (1990). Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 23-30.
- López Alcantud J. (2007). La enseñanza/aprendizaje de la energía en la educación tecnológica. Una ocasión privilegiada para el estudio de la situación de emergencia planetaria. *Tesis Doctoral*. Universitat de València, Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Valencia, España.
- Martínez Torregrosa, J. (2005). *Desarrollo de competencias en ciencia e ingeniería: Hacia una enseñanza problematizada*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

- Matar M. y Welti R. (2009). Las cargas superficiales y los campos de circuitos simples. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 631-637.
- Michinel Machado, J. y D'Alessandro Martínez A. (1992). Energía y Sistemas: Conceptos Relevantes en un Programa para Aprender Física Dirigido a Estudiantes de Ciencias de la Salud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14(1), 9-15.
- Millar, R. y Lim Beh K. (1993). Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits. *International Journal of science Education*, 15(4), 351-361.
- Nola, R. e Irzik, G. (2005). *Philosophy, science, education and culture*. Dordrecht: Springer.
- Pacca, J., Fucui, A., Bueno, M., Costa, R., Valério, R. y Mancini S. (2003). Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções de senso comum. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(2), 151-167.
- Pérez Landazábal, M., Favieres, A., Manrique, M. y Varela, P. (1995). La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 55-65.
- Perrotta, M., Dima, G., Capuano, V., Botta, I., Follari, B., de la Fuente, A. y Gutiérrez, E. (2009). La energía. Planificación, aplicación y evaluación de una estrategia didáctica para un curso universitario de física básica en carreras de ciencias naturales. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(2), 350-360.
- Pintó, R. (1991), *Algunos aspectos implícitos en la primera y segunda ley de la termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje*, Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (2001). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.
- Ramos, T. C., Fernandes, M.; Santos, W. (2017). Pesquisas sobre o ensino de matriz energética em periódicos nacionais e internacionais: desafios para a educação Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 344-371.
- Sandoval M., Mora C. (2009). Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 647-655.
- Sevilla Segura, C. (1986). Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 247-252.
- Shipstone, D. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185-198.
- Solbes, J. (2007). Una propuesta para la enseñanza-aprendizaje de la energía y su conservación basada en la investigación didáctica de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 20, 65-91.
- Solbes, J. y Tarín, F. (2004). La conservación de la energía: un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 387-397.
- Thacker, B. A., Ganiel, U. y Boys, D. (1999). Macroscopic phenomena and microscopic processes: student understanding of transients in direct current electric circuits. *American Journal of Physics*, 67(7), 25-31.
- Velazco, S. y Salinas, J. (2001). Comprensión de los Conceptos de Campo, Energía y Potencial Eléctricos y Magnéticos en Estudiantes Universitarios. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 23(3), 308-318.
- Velazco, S. y Salinas, J. (2014). Análisis y Profundización de Conceptuaciones Científicas en el Contexto de una Investigación Educativa. Procesos Energéticos en Circuitos Resistivos Puros de Corriente Continua. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(Extra), 207-216.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.

Villani, A. y Pacca, J. (2001). Como avaliar um projeto de pesquisa em educação em ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(1). Site: <http://www.if.ufrgs.br/ensino/revista.htm>.

Villani, A. y Pacca, J. (mayo de 1994), Qual a fundamentação de seu trabalho de pesquisa?, *IV Encontro de pesquisa em ensino de física*, 1, 15-17, Florianópolis.

Warren J. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), 295-297.

Welti R. (2005). Las cargas superficiales y el flujo de energía en un circuito simple. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(4), 577-582.

## APÉNDICE

Problemas propuestos a los estudiantes

(Los problemas 1 y 2 formaron parte de evaluaciones sobre “Medición de resistencias con voltímetro y amperímetro”; el problema 3 formó parte de una evaluación sobre “Efecto Hall”.)

**Problema 1** (N = 65):

Un estudiante afirma que la energía entregada por la fuente no es igual a la energía cedida a las resistencias del circuito porque además la fuente entrega energía a los electrones de conducción. ¿Está Ud. de acuerdo? Justifique.

**Problema 2** (N = 13):

Un estudiante está trabajando con un circuito similar al que Ud. utilizó en el laboratorio para controlar la validez de la ley de Ohm. El estudiante afirma que la ecuación:

Energía entregada por la fuente = Energía cedida a las resistencias

“es incorrecta, porque la energía entregada por la fuente no se transfiere totalmente a las resistencias, sino que una parte de esa energía es cedida por la fuente a los electrones de conducción”. ¿Está Ud. de acuerdo con esta afirmación? Justifique claramente su respuesta.

**Problema 3** (N = 17):

Si la fuente del circuito que provee el campo magnético proporciona  $(6,0 \pm 0,2)$  V, con la corriente de  $(2,00 \pm 0,05)$  A que circula por el bobinado, se puede calcular una potencia  $P = V \cdot I = (12,0 \pm 0,7)$  J/s.

Califique como Verdadera o Falsa cada una de las siguientes afirmaciones y justifique en todos los casos.

b1) “En cada segundo, la fuente hace un trabajo de 12,0 J sobre los electrones libres”

b2) “En cada segundo se almacenan 12,0 J de energía magnética en el bobinado”

b3) “En cada segundo la fuente entrega 12,0 J a las resistencias del circuito”

Si Ud. ha calificado como falsas las tres afirmaciones anteriores, explique qué ocurre con los 12,0 J de energía que la fuente entrega en cada segundo.