

---

# ESTUDIO DEL APRENDIZAJE EN UN CURSO DE FÍSICA UNIVERSITARIA USANDO SIMULACIONES COMPUTACIONALES EN LA ESTRATEGIA EDUCATIVA

---

GENARO ZAVALA ENRÍQUEZ / JUAN JOSÉ VELARDE MAGAÑA

## RESUMEN:

Este trabajo es un estudio de comparación entre el uso de simulaciones computacionales y equipo de laboratorio en el aprendizaje de conceptos de física por parte de estudiantes universitarios. Para ello, se hace una investigación con la implementación de *Tutoriales para Física Introductoria* como una estrategia de enseñanza de la física que ha sido probada por su efectividad en los cursos generales de física universitaria y que hace uso de equipo simple de laboratorio. En un grupo experimental se adapta el uso de *PhETs*, simulaciones computacionales, en los Tutoriales en lugar del equipo de laboratorio. El estudio se hizo con estudiantes universitarios con la combinación de Tutoriales y simulaciones (grupo experimental) y los resultados, después de una evaluación, se compararon con otro grupo de estudiantes quienes trabajaron con los Tutoriales pero usando equipo de laboratorio (grupo de control). Con los resultados de este trabajo podemos concluir que hay evidencia de que las simulaciones computacionales en conjunto con estrategias de aprendizaje activo pueden ser tan efectivas como cuando estas estrategias se usan con equipo de laboratorio, que las simulaciones pueden llegar a ser más efectivas en ciertos conceptos y que en tareas que implicaban la representación real de los circuitos, las simulaciones no fueron tan efectivas como el trabajar con el equipo de laboratorio.

**PALABRAS CLAVE:** simulaciones computacionales, aprendizaje activo, tutoriales, Investigación educativa, Física.

## INTRODUCCIÓN

La investigación en educación en la física, PER (Physics Education Research) tiene aproximadamente 30 años desde que profesores de física en departamentos de física de universidades empezaron a hacer investigación en la enseñanza de la física (McDermott y Redish, 1999). Desde entonces ha habido una extensa actividad sobre la problemática en diferentes áreas como las

---

dificultades de los estudiantes en entender conceptos de física, estrategias que llevan a un mejor entendimiento y evaluación del aprendizaje.

Las estrategias de aprendizaje basadas en estas investigaciones que se han desarrollado desde entonces son varias produciendo libros de texto tales como los escritos por McDermott, Shaffer y Perg (1998) y Sokoloff, Thornton y Laws (2004). A diferencia de los libros de texto tradicionales que se basan en dar explicaciones extensivas, claras y llamativas, estos libros usan la indagatoria y el análisis para que ocurra una construcción de los conceptos tratando de evitar el uso de la memorización de hechos y fórmulas.

El uso de las tecnologías de información le ha dado un nuevo ingrediente a este desarrollo de estrategias. Se han producido desde desarrollos de visualización de escenarios y procesos hasta simulaciones donde el estudiante puede interactuar con el programa de computadora. Las simulaciones que son basadas en lenguaje Java se les conoce como *applets* y aquellas que están diseñadas en contexto de la física se les conoce como *physlets* (Christian, 1999).

Algunos trabajos de investigación han demostrado que si la instrucción hace uso de actividades de aprendizaje activo con ayuda de programas computacionales, los alumnos aprenden más que si la instrucción se hace en un ambiente de aprendizaje tradicional (Steinberg, 2000). Sin embargo, una consideración que no se ha explorado es comparar el aprendizaje de los alumnos cuando la instrucción se hace mediante el uso de actividades de aprendizaje activo con equipo real y cuando la instrucción se hace mediante las mismas actividades de aprendizaje activo con simulaciones computacionales. Esta comparación nos puede servir para tomar decisiones en ciertas condiciones escolares donde sea más fácil obtener fondos para tener computadoras que para tener equipo.

Este trabajo tiene entonces la siguiente pregunta de investigación: ¿tiene el uso de simulaciones computacionales con una estrategia educacional activa resultados similares de aprendizaje al uso de equipo real con la misma estrategia educacional activa? Además, como pregunta subordinada, en caso de

---

que los resultados sean similares, podría ser ¿existen diferencias en el aprendizaje de conceptos específicos usando las simulaciones?

Este trabajo es realizado con un grupo de estudiantes universitarios con una estrategia de aprendizaje activo ya probada en diferentes ámbitos educacionales haciendo uso de simulaciones computacionales en comparación con otro grupo de estudiantes universitarios usando la misma estrategias de aprendizaje activo usando material físico de laboratorio. En la siguiente sección se establece el marco teórico seguido por la metodología y el contexto de la investigación. Después se presentan algunos resultados del estudio junto a su análisis y discusión. Por último, presentamos una conclusión basándonos en las preguntas de investigación del estudio.

### **MARCO TEÓRICO**

**Estrategia de aprendizaje activo.** Entre muchas estrategias de enseñanza-aprendizaje basadas en investigación que se han desarrollado en la última década por los grupos de PER (McDermott y Redish, 1999), escogimos para este estudio los Tutoriales para Física Introdutoria (McDermott, Shaffer y Perg, 1998) ya que son fáciles de implementar y que, de acuerdo a reportes en la literatura (Redish y Steinberg, 1999), indican que Tutoriales es una de las estrategias más efectivas en física universitaria. Su eficacia radica en que confronta al estudiante mediante un conflicto entre sus concepciones previas y las concepciones de un modelo científico que lo llevan a entender mejor la física. Estas concepciones previas en la literatura son llamadas también concepciones erróneas o alternativas. Este último término se prefiere ya que el estudiante las ha adquirido mediante su experiencia no académica en su vida cotidiana. Estas concepciones alternativas impiden al estudiante realmente entender fenómenos físicos en la naturaleza.

Los Tutoriales están constituidos por un conjunto de actividades (hojas de trabajo) y en algunos casos también con algo de equipo de laboratorio muy simple. El ciclo del Tutorial (por cada tópico del curso) consiste en un examen

---

previo, el Tutorial y la tarea de Tutorial. La primera y la última son actividades individuales que se hace fuera del salón de clases mientras que el Tutorial se hace dentro del salón de clases en grupos de 3 o 4 estudiantes. En cada Tutorial los estudiantes son guiados en el aprendizaje por medio del cuestionamiento confrontando en ocasiones con diferentes opciones para que sea provocado un conflicto entre las nuevas ideas y las ideas previas o concepciones alternativas y que sean resueltas por los estudiantes con la ayuda de las discusiones con sus compañeros en donde el profesor funge como facilitador pues establece un diálogo socrático con el grupo de estudiantes ayudándolos a llegar a sus propias conclusiones (McDermott et al., 1994).

**Simulación computacional.** Hay muchos tipos de simulaciones computacionales, cada una con características diferentes por las diferentes aplicaciones que tienen y por el lenguaje de programación que usan. Las simulaciones que se usaron en este proyecto son además de ser basadas en Java, se usa también Flash para su diseño y se le conocen como PhETs, diseñadas en un proyecto del grupo de investigación en educación en la física de la Universidad de Colorado. Existen algunos resultados preliminares que confirman que estas simulaciones, con un buen uso, pueden tener un impacto en el aprendizaje (Perkins, et al, 2006). Sin embargo, el presente estudio proporciona resultados comparativos que van más allá que una simple comparación de calificaciones.

## **METODOLOGÍA**

Escogimos dos tutoriales que utilizaran equipo y para los cuales existiera una simulación que reemplazara al equipo. Los tutoriales escogidos fueron: *Modelo para circuitos parte 1: Corriente y resistencia* y *Modelo para circuitos parte 2: Diferencia de potencial*. La simulación para usarse con estos dos tutoriales es *Circuit Construction Kit*. El tema de estudio de estos tutoriales y este *PhET* es circuitos de corriente directa y el objetivo de aprendizaje es entender conceptos como corriente, diferencia de potencial y resistencia equivalente de un circuito.

---

Para poder usar los Tutoriales con la simulación en lugar de equipo de laboratorio sin modificar la metodología de la estrategia de Tutoriales, se tuvieron que adaptar los mismos cambiando la redacción de la hoja de trabajo. Esto es, en las ocasiones en que la hoja de trabajo pidiera hacer una manipulación de objetos para hacer un experimento, se cambió la redacción para pedir hacer una manipulación en la simulación computacional. Además, existe la opción de ver el flujo de la corriente en la simulación por lo que fue deshabilitada para hacer que la simulación sea lo más cercano a lo que el estudiante usa y observa con equipo real.

**Contexto educacional.** El estudio se realizó con estudiantes de ingeniería en su tercer semestre dentro de un curso de electricidad y magnetismo introductorio por dos semestres consecutivos. Los alumnos toman este curso con tres horas de clase semanales en el salón (entre 30 y 40 estudiantes) y dos horas quincenales en un laboratorio complementario y obligatorio en grupos de 12 a 15 alumnos diferentes a los del salón de clase. El estudio se realizó en las sesiones de laboratorio. Durante el semestre los estudiantes se reúnen durante siete ocasiones. Este estudio se hizo en la tercer y cuarta sesión del semestre. En las sesiones de laboratorio los alumnos trabajan con Tutoriales con equipo de laboratorio.

**Estructura del diseño.** En el grupo experimental del primer semestre del experimento participaron 32 estudiantes (en tres grupos de laboratorio) usando dos tutoriales adaptados: *Modelo para circuitos parte 1: Corriente y resistencia* y *Modelo para circuitos parte 2: Diferencia de potencial*. La adaptación fue hecha para usarse con la simulación de *Circuit Construction Kit PhET*. En el grupo de control participaron 44 estudiantes (en cuatro grupos) usando los Tutoriales de la forma recomendada, con la ayuda de equipo. En el segundo semestre del experimento participaron 34 estudiantes en el grupo experimental y 43 estudiantes en el grupo de control.

Durante la intervención se trató de que los grupos de control y experimental fueran diferentes sólo en la manera que iban a realizar los tutoriales, con equipo

---

o con la simulación. Para ello se asignó a un instructor común que ayudara durante las sesiones y apoyara al instructor original del laboratorio. Además se escogieron al azar los grupos que participarían con el sólo requisito que fueran por la mañana con excepción del grupo de las ocho de la mañana el lunes. Los instructores originales de laboratorio eran diferentes para los grupos con excepción de uno que tenía dos grupos, uno experimental y otro de control.

**Instrumento de evaluación.** Como instrumento de evaluación del entendimiento conceptual de los estudiantes se diseñó un cuestionario compuesto por 16 preguntas de opción múltiple preguntando sobre conceptos de corriente, diferencia de potencial y resistencia equivalente. El cuestionario fue distribuido como pre-test al comienzo de la sesión del tutorial de circuitos, parte 1, y como post-test al final de la sesión de tutorial de circuitos, parte 2. De las 16 preguntas que constituyen el instrumento, 10 fueron adaptadas de la *Evaluación de Conceptos de Circuitos Eléctricos (ECCE)* (Thornton y Sokoloff, no publicado) y las seis preguntas restantes fueron tomadas del *Determining y Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test (DIRECT)* (Engelhardt y Beichner, 2004).

**Análisis.** Para evaluar los resultados de los exámenes, se analizaron las respuestas de estudiantes por medio de la ganancia en el post-test comparado con el pre-test de acuerdo con la siguiente ecuación (Hake, 1998):

$$g = (x_{\text{post}} - x_{\text{pre}}) / (1 - x_{\text{pre}})$$

En esta ecuación  $x_{\text{post}}$  y  $x_{\text{pre}}$  son la fracción de estudiantes que contestan la respuesta correcta. Este parámetro se interpreta como una medida de cuánto un estudiante o un grupo de estudiantes aprendieron con respecto a lo que pudieron haber aprendido. Las ganancias pueden ser calculadas en todo el examen, un área conceptual específica o una pregunta específica.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 1 presenta los resultados de los exámenes antes (pre) y después (pos), además la ganancia en los exámenes a partir de la implementación de las dos actividades de Tutoriales para los grupos experimental y de control de los dos semestres (semestre A y B respectivamente). Se presentan los resultados de cada pregunta y del examen total. El cuadro muestra que las ganancias en general fueron altas en los dos grupos. Lo anterior podría significar que, en el tema de circuitos, la estrategia por medio de Tutoriales es más exitosa por su naturaleza basada en el cuestionamiento y guía del razonamiento que por el uso del equipo y su finalidad experimental y de observación.

En el primer semestre el grupo experimental tiene una mejor ganancia en siete y el grupo de control en tres de las 16 preguntas. En el segundo semestre el grupo experimental tiene una mejor ganancia en cinco y el grupo de control en cinco de las 16 preguntas. En el examen en general el grupo experimental tiene una mejor ganancia en los dos semestres. Esto puede ser interpretado como una evidencia de que una simulación ayuda en el aprendizaje cuando se usa en conjunto con una hoja de trabajo basada en el cuestionamiento y discusión.

La pregunta de investigación de este estudio fue: ¿tiene el uso de simulaciones computacionales con una estrategia educacional activa resultados similares de aprendizaje al uso de equipo real con la misma estrategia educacional activa? El resultado en el cuadro 1 demuestra que Tutoriales puede ser usado con simulaciones computacionales sin perjudicar el aprendizaje en general pues la ganancia con la herramienta de evaluación usada demuestra que la ganancia usando simulaciones es muy alta y parecida a la ganancia usando equipo real de laboratorio.

Para abordar la pregunta subordinada es necesario observar diferencias en el aprendizaje de los alumnos en cada uno de los dos grupos en alguna pregunta o grupo de preguntas específicas. Se puede observar que consistentemente algunas de las preguntas se comportan de manera similar a través de los dos semestres del estudio. Son estas preguntas con las que estaremos discutiendo

---

para sacar conclusiones de las diferencias entre el uso de simulaciones y equipo real.

A través de los dos semestres las preguntas 2 y 3 muestran que los alumnos en el grupo experimental tienen un mejor aprendizaje que los alumnos en el grupo de control. Si tomamos estas preguntas junto con las preguntas 5 y 9 constituyen un conjunto de preguntas del concepto de corriente y que particularmente indagan si los estudiantes tienen la concepción alternativa de que las baterías son fuentes de corriente constante. En su conjunto estas cuatro preguntas tienen una ganancia de 0.27 y 0.38 para los grupos de control en los semestres y una ganancia de 0.47 y 0.51 para los grupos experimentales. Es decir, las simulaciones producen un mejor aprendizaje en el concepto de corriente y en particular cuando se indaga por la concepción alternativa de fuente de corriente constante.

Para entender estas diferencias analizaremos la pregunta 5 que se presenta en la figura 1. La figura 2 muestra la distribución de respuestas para la pregunta 5 para cada grupo en el pre-test y el post-test con datos del primer semestre.

De la figura 2 (incisos b y d) observamos que la ganancia en el grupo experimental se debió a que un gran número de los alumnos que respondían la respuesta c ahora respondieron la respuesta correcta. Además los otros modelos alternativos desaparecen prácticamente. En cambio en el grupo de control (figura 2 incisos a y c), aunque también hay ganancia, no tantos alumnos que contestaban la respuesta c ahora responden correctamente y los otros modelos alternativos permanecen presentes. Esto se interpreta como que los Tutoriales con *PhETs* son más eficaces para disminuir el número de estudiantes con el modelo alternativo de que la batería es una fuente de corriente constante en un circuito en serie (modelo correspondiente a la respuesta c) y sin la promoción hacia otra concepción alternativa.

Otra diferencia significativa entre los grupos de control y experimental mostrada en el cuadro 1 es el resultado de la pregunta 15. Esta pregunta consiste en traducir la representación real de un circuito a su representación



---

simbólica (figura 3 muestra la pregunta 15). En ambos semestres el grupo de control se desempeña mejor que el grupo experimental.

La figura 4 muestra la distribución de respuestas de la pregunta 15 para el semestre A y se puede observar que la concepción alternativa de no tomar en cuenta las terminales de los focos representadas por las respuestas c y e es persistente en el grupo experimental y disminuye considerablemente en el grupo de control marcando una ventaja evidente al momento de trabajar con baterías y focos para darse cuenta que en efecto, los elementos de un circuito tienen dos terminales y que éstas deben de ser conectadas para hacer funcionar al circuito.

Estos dos ejemplos muestran que aunque el resultado general de aprendizaje usando simulaciones es parecido al de usar equipo de laboratorio, existen diferencias de aprendizaje en ciertos conceptos en el estudio. Esto puede tomarse en cuenta en la decisión de cómo implementar una estrategia como los Tutoriales.

## **CONCLUSIONES**

Con este trabajo podemos concluir que hay evidencia suficiente para poder afirmar que las simulaciones computacionales, cuando se usan con un conjunto de hojas de trabajo probadas que son efectivas en el aprendizaje, pueden ser tan efectivas como cuando estas hojas de trabajo se usan con equipo de laboratorio de una manera experimental. Además podemos afirmar que las simulaciones pueden llegar a ser más efectivas en ciertos conceptos de corriente. Sin embargo, también observamos que en tareas que implicaban la representación real de los circuitos, las simulaciones no fueron tan efectivas como el trabajar con el equipo de laboratorio. Con esta última observación, existe evidencia de que el trabajar con equipo le va a dar al estudiante una experiencia que se va a traducir en entendimiento de cómo trabajan los elementos del circuito que no la puede obtener con las simulaciones.

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo al Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey por medio del proyecto CAT140.

## REFERENCIAS

- Christian, W. (1999). "Physlets: delivering media-focused problems anytime anywhere". *Computer Physics Communications*, 121: 569-572.
- Engelhardt, V. y Beichner, R. J. (2004). „Students' understanding of direct current resistive electrical circuits", *American Journal of Physics*, 72, 98-115.
- Hake, R (1998). "Interactive engagement vs. traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics", *American Journal of Physics*, 66 (1) 64-74.
- McDermott, L. C. y Redish, E. F. (1999). "Resource Letter: PER-1: Physics Education Research", *American Journal of Physics*, 67, 755.
- McDermott, L. C.; Shaffer, P. S. y Somers, M. D. (1994). "Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration en the context of the Atwood's machine" *American Journal of Physics*, 62, 46-55.
- McDermott, L. C.; Shaffer, P. S. y Per (1998). *Tutorials in Introductory Physics*. Prentice Hall.
- Perkins, K.; Adams, W.; Dubson, M.; Finkelstein, N.; Reid, S.; Wieman, C. y LeMaster, R. (2006). "PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics". *Physics Teacher*, 44, 18.
- Physics Education Technology project at the University of Colorado* (junio, 2007). <http://phet.colorado.edu/web-pages/simulations-base.html>
- Redish, E. y Steinberg, R. (1999). "Teaching Physics: Figuring Out What Works". *Physics Today*. 52, 24-30.
- Sokoloff D. R. y Thornton R. (2004). *Real Time Physics Module 1: Mechanics*. Wiley.
- Steinberg, R. N. (2000). "Computers in teaching science: To simulate or not to simulate?" *American Journal of Physics Supplements*. 68, S37-S41.

Thornton, R. y Sokoloff, D. R. *The Electric Circuits Concept Evaluation (ECCE)*. Test no publicado.

## CUADROS Y ESQUEMAS

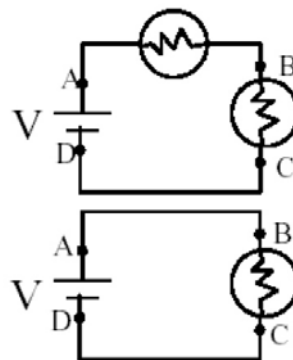
**Cuadro 1.** Resultados en las preguntas para los dos semestres en estudio

Pregunta	Control A			Experimental A			Control B			Experimental B		
	Pre	Pos	G	Pre	Pos	g	Pre	Pos	g	Pre	Pos	g
1	0.82	0.93	0.62	0.78	0.97	0.86	0.74	0.95	0.80	0.81	0.96	0.79
2	0.16	0.50	0.41	0.09	0.72	0.69	0.12	0.54	0.48	0.00	0.65	0.65
3	0.36	0.64	0.43	0.31	0.81	0.73	0.33	0.55	0.33	0.22	0.74	0.67
4	0.55	0.70	0.35	0.59	0.91	0.77	0.53	0.88	0.75	0.58	0.88	0.71
5	0.30	0.43	0.19	0.13	0.63	0.57	0.14	0.39	0.28	0.09	0.43	0.37
6	0.35	0.48	0.20	0.38	0.66	0.45	0.32	0.83	0.75	0.48	0.68	0.38
7	0.59	0.84	0.61	0.72	0.81	0.33	0.46	0.88	0.78	0.51	0.81	0.61
8	0.32	0.48	0.23	0.28	0.65	0.51	0.28	0.72	0.62	0.38	0.58	0.33
9	0.18	0.25	0.08	0.22	0.11	-0.14	0.14	0.49	0.40	0.08	0.42	0.37
10	0.45	0.57	0.21	0.66	0.72	0.18	0.50	0.57	0.13	0.62	0.84	0.57
11	0.52	0.84	0.67	0.56	0.84	0.64	0.62	0.91	0.76	0.58	0.95	0.87
12	0.61	0.80	0.47	0.75	0.88	0.50	0.71	0.87	0.55	0.73	0.91	0.65
13	0.39	0.68	0.48	0.59	0.69	0.23	0.38	0.79	0.66	0.47	0.84	0.69
14	0.57	0.53	-0.08	0.59	0.62	0.08	0.59	0.57	-0.04	0.43	0.49	0.10
15	0.27	0.43	0.22	0.25	0.28	0.04	0.36	0.67	0.49	0.30	0.38	0.12
16	0.36	0.57	0.32	0.35	0.59	0.37	0.26	0.57	0.41	0.35	0.46	0.17
Examen	0.43	0.60	0.31	0.45	0.68	0.41	0.40	0.70	0.49	0.42	0.69	0.47

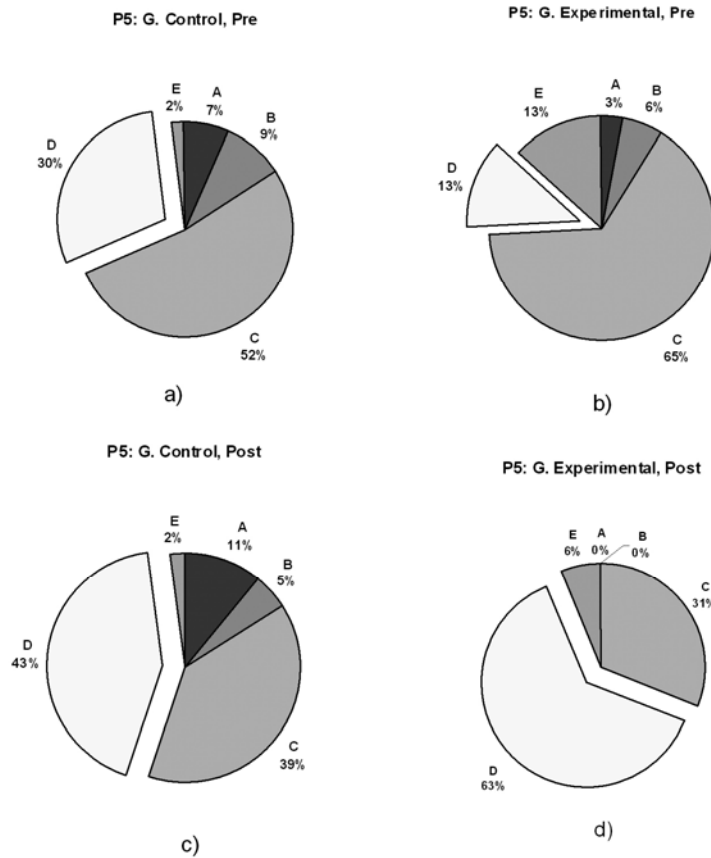
**Figura 1.** Pregunta 5

5. Compara la corriente que pasa por A en el circuito con dos focos con la corriente que pasa por A en el circuito de un solo foco.

- La corriente en el circuito de dos focos es dos veces la corriente en el circuito de un solo foco.
- La corriente en el circuito de dos focos es mayor que la corriente en el circuito de un solo foco pero no dos veces.
- La corriente es la misma.
- La corriente en el circuito de dos focos es la mitad de la corriente en el circuito de un solo foco.
- La corriente en el circuito de dos focos es menor que la corriente en el circuito de un solo foco pero no la mitad.



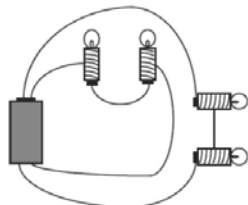
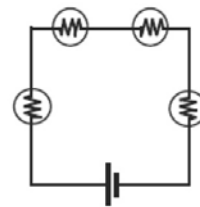
**Figura 2. Resultados de la pregunta 5**



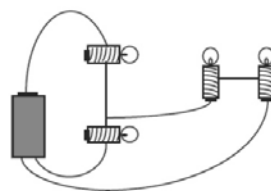
**Figura 3. Pregunta 15**

15. ¿Qué esquema representa mejor al circuito que se muestra a la derecha?

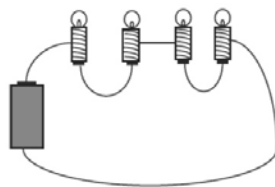
- a.) circuito 2
- b.) circuito 3
- c.) circuito 4
- d.) circuitos 1 y 2
- e.) circuitos 3 y 4



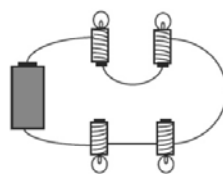
circuito 1



circuito 2



circuito 3



circuito 4

Figura 4. Resultados de la pregunta 15

