

APRENDIZAJE CONCEPTUAL DE ALUMNOS DE INGENIERÍA QUE REALIZAN ACTIVIDADES DE LABORATORIO

MÓNICA QUEZADA-ESPINOZA

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

ÁNGELES DOMÍNGUEZ

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

GENARO ZAVALA

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

TEMÁTICA GENERAL: EDUCACIÓN EN CAMPOS DISCIPLINARES

RESUMEN

En esta investigación se presenta un análisis de las principales concepciones alternativas que presentan los estudiantes de ingeniería después de realizar actividades de laboratorio con el uso de estrategias de aprendizaje basadas en investigación y tecnología instruccional. La investigación se realizó en una universidad privada mexicana con una muestra de 171 estudiantes de diversas carreras de ingeniería inscritos en la clase de electricidad y magnetismo. La implementación se realizó en dos sesiones de laboratorio donde se abordan conceptos de resistencia, corriente y voltaje. Los estudiantes utilizaron Tutoriales para Física Introductoria y Física en Tiempo Real, ambas estrategias mediadas con el uso de Tecnología Instruccional (sensores y simulaciones interactivas, PhET). Para analizar el aprendizaje conceptual se utilizó un problema conceptual de preguntas abiertas diseñado a partir de investigación que aborda las principales concepciones alternativas reportadas en la literatura. Con este estudio se encontraron concepciones persistentes y nuevas concepciones alternativas que permitirán el análisis de implementaciones futuras mediadas con estrategias de aprendizaje y tecnología para mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes.

Palabras clave: Concepciones alternativas, circuitos eléctricos, estrategias de aprendizaje, tecnología instruccional, laboratorio.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de la tecnología como apoyo para la educación ha ido incrementando. Dentro del campo de Investigación en Educación de la Física (PER, por sus siglas en inglés), se ha demostrado a través de varias investigaciones que la tecnología provee a los estudiantes de herramientas para visualizar procesos y conceptos abstractos; permitiendo una mejora en el aprendizaje significativo de los estudiantes en temas de física. Sin embargo, también se ha demostrado empíricamente que el uso de la tecnología por sí sola no es suficiente para garantizar este aprendizaje, es necesario que exista una guía adecuada que conduzca al estudiante por un proceso que le permita realmente aprender (Docktor y Mestre, 2014). Se habla específicamente de las estrategias de aprendizaje basadas en investigación (EABI), que son guías de trabajo diseñadas para conducir a los estudiantes mediante un proceso de conflicto cognitivo, lo que promueve el aprendizaje conceptual y el desarrollo de otras habilidades como la discusión, reflexión y participación dentro del aula o laboratorio (Keller, Finkelstein, Perkins y Pollok, 2006; Rehn, Moore, Podolefsky y Finkelstein, 2013; Zavala y Velarde, 2009). En esta investigación se aborda el uso de las EABI, Tutoriales para Física Introductoria (McDermott, Shafer y UW-PERG, 2001) y Física en Tiempo Real (Sokoloff, Thornton y Laws, 2004), con el apoyo de diversos tipos de tecnología instruccional (TI), que consiste en el uso de sensores para la recolección de datos en tiempo real y el uso de las simulaciones interactivas, PhET (Wieman, Adams y Perkins, 2008).

Tanto las EABI como el uso de la TI, han demostrado que son efectivas para mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes, específicamente en temas de electricidad y magnetismo. Sin embargo, se tiene que los estudiantes continúan teniendo concepciones alternativas, aun después de la instrucción. Las concepciones alternativas se definen en esta investigación como aquellas concepciones con las que los estudiantes llegan al salón de clases y que están arraigadas en sus estructuras cognitivas, difieren de lo que el saber científico postula, son difíciles de confrontar y definitivamente deben ser superadas para que el estudiante pueda avanzar correctamente en su aprendizaje de física (Hammer, 1996). Referente a esto y en relación al aprendizaje de circuitos eléctricos, Pesman y Eryilmaz (2010) realizaron un inventario de las principales concepciones alternativas que los estudiantes han mostrado tener a lo largo de varios años de investigación en diferentes contextos. Basados en el uso de las EABI y la TI, se realiza un estudio sobre el aprendizaje conceptual analizado a partir de las concepciones alternativas que presentan los estudiantes después de realizar actividades en el laboratorio de circuitos eléctricos.

A partir de la problemática presentada, se llega al planteamiento del objetivo principal de esta investigación, que es realizar un análisis de las concepciones alternativas que presentan los estudiantes al responder un examen conceptual diseñado a partir de investigación, después de que los alumnos realizan actividades de laboratorio con el uso de las estrategias de aprendizaje basadas en investigación mediadas con tecnología instruccional en temas de circuitos eléctricos. Con este

estudio se pretende responder a la siguiente pregunta, ¿cuáles son las concepciones alternativas de los estudiantes que prevalecen después de la realización de actividades en el laboratorio con el uso de EABI y TI en temas de circuitos eléctricos?

DESARROLLO

A continuación, se presenta la descripción de las estrategias de aprendizaje y la tecnología instruccional utilizadas en esta investigación, donde se profundiza en sus principales características y objetivos. Además, se plantea la metodología utilizada para llevar a cabo el estudio.

Estrategias de aprendizaje basadas en investigación: Tutoriales para Física Introductoria y Física en Tiempo Real

Los Tutoriales para Física Introductoria (*Tutoriales*) son hojas de trabajo que se han venido utilizando en esta institución desde hace varios años. Estos, son una estrategia de aprendizaje diseñados a partir de investigación por McDermott, Shafer y UW-PERG (2001). Los Tutoriales están conformados por tres partes: una prueba diagnóstica, tutoriales para desarrollar en el aula y ejercicios complementarios. En los laboratorios de E&M sólo se utiliza la segunda parte, Tutoriales, que son realizados en grupos de 3-4 estudiantes (cada grupo de laboratorio tiene entre 14 y 16 estudiantes). Consisten en ejercicios y preguntas que los alumnos deben realizar y discutir para solucionarlos de manera colaborativa. De esta manera, su aprendizaje se irá construyendo a partir de la discusión (en todos los casos) y ejecución de actividades de experimentación (con material simple de laboratorio, focos, baterías, etc.) y observación de fenómenos físicos (no en todos los casos), con la guía del instructor de laboratorio (mediante una guía socrática, donde no se proporcionan respuestas, sino que se generan preguntas a los estudiantes para ayudarlos a llegar a las respuestas).

La estrategia Física en Tiempo Real (FTR), fue desarrollada por Sokoloff, Thornton y Laws (2004). Consiste en cuadernos de trabajo que constan de tres partes: una tarea previa a la sesión de laboratorio, las hojas de trabajo de laboratorio y una tarea para después del laboratorio. Por limitaciones contextuales, en esta investigación se trabaja únicamente con la segunda parte, las hojas de trabajo para laboratorio. De acuerdo con Sokoloff et al. (2004), los objetivos principales de FTR son: (1) ayudar a que los alumnos adquieran un entendimiento de conceptos físicos; (2) otorgar a los estudiantes un contacto directo del mundo físico a través del uso del uso de sensores para la recolección y análisis de datos en tiempo real; (3) mejorar las habilidades tradicionales del uso de laboratorio; (4) reforzar los temas vistos en clase a través de una combinación de actividades conceptuales y experimentos cuantitativos. De esta manera, FTR está diseñada para ayudar a los alumnos a modificar sus concepciones alternativas comunes sobre los fenómenos físicos, que dificultan el entendimiento de los principios físicos fundamentales. Dichas actividades también se realizan en grupos de 3-4 estudiantes y promueven la discusión y colaboración para mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes.

Tecnología instruccional: Sensores para la recolección de datos en tiempo real y simulaciones interactivas PhET

Los sensores para la recolección de datos es una tecnología que se ha venido utilizando desde hace varias décadas para mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes (House, 2011; Struck, 2009). El uso de sensores para la experimentación en el laboratorio acerca al estudiante al fenómeno físico que se está abordando, permitiéndole al alumno observar directamente los fenómenos y dando oportunidad a repetir los experimentos. Además, los estudiantes adquieren experiencia práctica en el uso de equipo y material de laboratorio. Tradicionalmente la computadora es la que se utiliza como medio para observar los fenómenos a través de una interface, actualmente las calculadoras tienen el software que les permite realizar las mismas funciones que la computadora, por lo que en esta investigación el uso de sensores se realizó a partir de computadora y calculadora graficadora.

Por su parte, las simulaciones interactivas PhET (Wieman, Adams y Perkins, 2008), diseñadas por el grupo de investigación en educación de la física de la Universidad en Colorado, son una herramienta práctica para observar fenómenos de forma virtual; fenómenos que en la práctica resulta difícil observar; que son abstractos, y esta herramienta permite visualizarlos de una manera creativa basada en investigación.

Metodología

El estudio propuesto tiene un método de investigación cualitativo en el que se analiza un examen de preguntas abiertas diseñado a partir de investigación que identifica las principales concepciones alternativas que presentan los estudiantes. La investigación fue llevada a cabo en una universidad privada mexicana donde la población estudiada consta de 350 alumnos de diversas carreras de ingeniería inscritos en la clase de Electricidad y Magnetismo (E&M). El formato de la materia de E&M es de dos clases presenciales y un laboratorio de 1.5hrs semanales. Durante el semestre se realizan 13 actividades de laboratorio. Esta investigación tuvo intervención en dos de ellas relacionadas con temas de circuitos eléctricos en los que se abordan los conceptos de resistencia, corriente y diferencia de potencial. La intervención consistió en implementar, además del Tutorial, la estrategia de aprendizaje Física en Tiempo Real (FTR). Aunado a esto, se propuso la adaptación de estas estrategias al uso de diferentes tecnologías instruccionales: computadora con software e interface para usar sensores de corriente y diferencia de potencial (Pc), calculadora con adaptador para usar sensores de corriente y diferencia de potencial (Calc) y simulaciones interactivas basadas en investigación (PhET).

Problema Conceptual

El examen conceptual utilizado fue diseñado a partir de investigación a partir de las principales concepciones alternativas reportadas en la literatura (Peşman y A. Eryılmaz, 2010; Taşlıdere, 2013), las cuales se describen a continuación.

a) *Sumidero*. El estudiante considera que un solo cable conectado de una fuente de voltaje a un dispositivo electrónico es suficiente para encenderlo.

b) *Atenuación*. El estudiante considera que cuando la corriente se va “perdiendo” gradualmente debido a que se queda en los componentes del circuito por los que va pasando.

c) *Corriente compartida*. Se cree que la corriente es la misma en todos los componentes del circuito sin tomar en cuenta su configuración.

d) *Secuencial*. Se asume que una modificación en algún punto de un circuito eléctrico afecta a este en favor de la corriente y no en contra de ésta.

e) *Choque*. La corriente positiva y negativa administrada por la batería se encuentra en algún componente del circuito provocando que este “choque” o encuentro encienda el componente eléctrico.

f) *Regla empírica*. Se cree que entre más lejos esté un foco de la fuente de voltaje menos brillante será.

g) *Corto circuito*. Se ignoran los cables que no están conectados a algún componente eléctrico dentro del circuito.

h) *Fuente de poder como fuente de corriente constante*. Se considera a cualquier fuente de poder o alimentación como una fuente de corriente constante.

i) *Circuito paralelo*. Se considera a las resistencias como obstáculos en el flujo de corriente, asumiendo que al incrementar el número de resistencias incrementara la resistencia total del circuito.

j) *Razonamiento local*. Se considera que si se hace un cambio en alguna parte específica del circuito éste no afectará en todo el sistema.

En esta misma investigación, Peşman y Eryilmaz (2010) encontraron que los alumnos presentan otra concepción alternativa, la cual denominaron como *corriente fluye como agua*, en el que se considera que la corriente se comporta como un chorro de agua, y tiene más “facilidad” de pasar por caminos rectos, y más “dificultad” de pasar por caminos en perpendicular.

Utilizando el compendio de concepciones alternativas presentado, Quezada-Espinoza, del Campo y Zavala (2015), diseñaron una evaluación de 6 preguntas abiertas que solicitan al estudiante su razonamiento escrito para justificar su respuesta. El ejercicio conceptual fue implementado como parte de la segunda evaluación parcial del semestre, una semana después de las actividades de circuitos en el laboratorio. Para analizar los resultados se realizó una transcripción de las respuestas de los estudiantes y se clasificaron de acuerdo a las concepciones alternativas descritas anteriormente, los resultados se muestran a continuación.

Resultados

El problema conceptual fue respondido por 171 estudiantes como parte del segundo examen parcial del semestre. La Tabla 1 muestra la frecuencia con la que cada concepción fue registrada en cada inciso. Nótese que las concepciones «Paralelo inverso» y «Serie» no se mencionan en el compendio de concepciones mencionadas en la Metodología. Esto es porque los razonamientos de

los alumnos no correspondían a ninguna concepción reportada en la literatura con esas características. Por lo que se aislaron los casos de razonamientos similares y se les otorgó una etiqueta nueva para identificarlos.

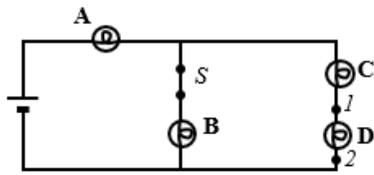
Tabla 1

*Frecuencia de las concepciones alternativas (Peşman y Eryılmaz, 2010) mostradas por los estudiantes a través de su razonamiento escrito en cada pregunta al responder el Problema Conceptual (N=171). FPFCC, significa fuente de poder como fuente de corriente constante. *concepciones alternativas que obedecen a razonamientos no reportados en la literatura*

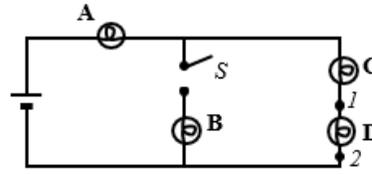
Nombre de la concepción	Frecuencias por pregunta					
	Pregunta a)	Pregunta b)	Pregunta c)	Pregunta d)	Pregunta e)	Pregunta f)
Circuito paralelo		1	12	7	1	1
Corriente compartida	12				2	
Agua	6					
Paralelo inverso*			12	8		
Atenuación	15				1	16
Corto circuito		37				
Secuencial			1	39	6	
FPFCC			40	8	2	1
Razonamiento local			10	19	3	2
Serie*				7	28	23

Se presenta un análisis más profundo sobre las respuestas de los incisos c) a f), al ser estos los que muestran más variaciones en las concepciones identificadas. En la Figura 1 se muestran los incisos c) y d), después un análisis de los razonamientos de los alumnos.

Retomando el circuito original (Circuito 1), ahora abrimos el interruptor S quedando un diagrama como en el Circuito 3 mostrado abajo a la derecha. Basándote en esta aclaración, responde los incisos c) y d).



Circuito 1



Circuito 3

c) ¿Es la corriente que pasa por la *batería* en el Circuito 3 *mayor, menor o igual* que la corriente que pasa por *batería* en el Circuito 1? **Explica claramente tu respuesta.**

d) ¿Es la corriente que pasa por el *foco A* en el Circuito 3 *mayor, menor o igual* que la corriente que pasa por el *foco A* en el Circuito 1? **Explica claramente tu respuesta.**

Figura 1. Preguntas de los incisos c) y d) del Problema Conceptual.

El inciso c) tiene una mayor frecuencia de alumnos que incurrieron en la concepción *Fuente de poder como fuente de corriente constante*, ejemplos de los razonamientos categorizados bajo esta etiqueta son los siguientes:

- Igual, S no afecta la batería, la corriente que sale es la misma que entra.
- Igual, sólo cambia como se distribuye, al final vuelve el total de la corriente a la batería.
- Igual, la corriente se mantiene constante.
- Igual, la corriente de una batería ideal no se ve afectada por el circuito que recorre.
- Igual, la batería sigue igual, no se ha modificado.

Los alumnos que respondieron con estos razonamientos muestran creer que independientemente de la configuración del circuito conectado, la batería siempre generará la misma cantidad de corriente, como si fuera una fuente de corriente constante.

Por su parte, el inciso d) muestra una mayor cantidad de alumnos que tuvieron la concepción *Secuencial*, enseguida se muestran algunos razonamientos.

- Igual, se encuentra en el mismo punto.
- Igual, porque es el primer foco del circuito.
- Igual, al no haber resistencias antes, la corriente es la misma en el foco A.
- Igual, es el primer punto por donde pasa corriente por lo que aún no hay disminución.
- Igual, A siempre se encontró antes del interruptor.

Al responder d), los alumnos consideran que, como el cambio se efectuó después de A, el brillo de este foco no se verá afectado por abrir el interruptor, es decir, que abrir S afecta al circuito en favor de la corriente y no en contra de ésta.

Como era de esperarse, las respuestas de los alumnos en c) y d), sugieren que parte de los alumnos consideran que la corriente de la batería no es la misma que la del foco A que, aunado a las

concepciones alternativas que presentan, esto representa otro problema sobre el concepto de corriente y su flujo en un circuito mixto. Sin embargo, si observamos en la Tabla 1, sólo 8 alumnos tuvieron la concepción FPFCC en d), esto significa que 8 de 40 (frecuencias en c)) de estos alumnos sí saben que la corriente en la batería y en el foco A es la misma, pero su problema conceptual radica en su concepción de batería.

Un número de frecuencias que consideramos importante es en el inciso d) en la concepción de *Razonamiento local* (19).

- Igual, no existe nada que modifique la corriente, tomando en cuenta que tiene los mismos volts.
- El foco A esta en serie y S en paralelo, no afecta directamente.
- La resistencia y el voltaje siguen siendo iguales en ese punto.
- Al foco A no le afecta si S está abierto o cerrado.

Según estos razonamientos, se puede decir que los alumnos están realizando un análisis local en el foco A de la corriente sin tomar en cuenta las modificaciones que éste sufra, están separando de nuevo la cantidad de corriente en la batería de la del foco A, puesto que sólo 10 veces se vio reflejada esta concepción en el inciso c).

Continuando con el análisis de los incisos e) y f), en la Figura 2 se puede ver el diagrama para estas preguntas.

Retomamos el circuito original (Circuito 1) y agregamos un quinto foco (E) entre los focos C y D como se muestra abajo a la derecha en el Circuito 4. Con base en esta aclaración, responde los incisos e) y f).

e) ¿Es la corriente que pasa por el foco C en el Circuito 4 mayor, menor o igual que la corriente que pasa por el foco C en el Circuito 1? **Explica claramente tu respuesta.**

f) ¿Es la corriente que pasa por el foco D en el Circuito 4 mayor, menor o igual que la corriente que pasa por el foco D en el Circuito 1? **Explica claramente tu respuesta.**

Figura 2. Preguntas de los incisos e) y f) del Problema Conceptual.

Para estos incisos, primero discutiremos la concepción alternativa *Atenuación*, dónde el inciso e) tuvo una frecuencia reportada y el f), 16 (ver Tabla 1). Enseguida se muestran razonamientos escritos de los alumnos al responder f), donde justifican su respuesta.

- Menor, parte de la energía se queda en el foco.

- Menor, el foco E funciona como resistencia que disminuye la corriente del foco D.
- Menor, existe otro “capturador” de corriente que hace que almacene menos corriente.
- Menor, los focos C y E reciben más corriente.

Como se puede observar, este tipo de respuestas incorrectas eran las esperadas al momento de diseñar el instrumento. Aunque la respuesta “menor” es correcta, la justificación de los estudiantes sugiere que consideran que la corriente de alguna forma se almacena en los componentes del circuito por los que pasó antes del componente cuestionado, de tal manera que llega menos corriente a éste. Se observa también que los estudiantes intercambian términos, asignando las propiedades de la corriente a voltaje, energía y potencia (Engelhardt y Beichner, 2004).

Una situación sorpresiva, fue la de encontrar razonamientos que no correspondían a los ya reportados en la literatura. Es el caso de la concepción alternativa *Serie*, donde e) y f) tienen 28 y 23 frecuencias, respectivamente. Las respuestas comunes para e) y f) que mostraron esa concepción se muestran enseguida.

- Igual, están en serie así que no afecta.
- Igual, se transmite la misma corriente en los focos.
- Igual, queda con la misma corriente porque está en serie.
- Igual, la corriente en resistores en serie es igual.
- Igual, están en serie, la corriente permanece igual.
- Igual, están en el mismo cable.
- Igual, el foco agregado se coloca en serie.

Dentro del compendio de concepciones reportado en la Metodología se encuentra la concepción llamada *Razonamiento local*, a la cual podrían atribuirse las respuestas recién mostradas. Sin embargo, consideramos que el hecho de que el estudiante justifique su respuesta bajo el argumento de que la corriente es la misma debido a que los focos están en serie, esto se debe etiquetar aparte. Podría pensarse que la nueva concepción surgida etiquetada como *Serie* es una variante del *Razonamiento local*, en donde el alumno además de ignorar el análisis global del circuito, atañe el comportamiento de la corriente a una fórmula que vio en clase, donde repetidamente escucha decir: la corriente de un circuito en serie siempre es la misma. Pero, la literatura es clara al mostrar las características de cada concepción alternativa ya reportada, por lo que consideramos que este es un hallazgo que aporta al saber del campo de estudio.

CONCLUSIONES

Retomando el objetivo de la investigación, realizar un análisis de las concepciones alternativas que presentan los estudiantes al responder un examen conceptual diseñado a partir de investigación, después de que los alumnos realizan actividades de laboratorio con el uso de las estrategias de aprendizaje basadas en investigación mediadas con tecnología instruccional en temas de circuitos eléctricos, se puede decir que hay evidencia para concluir que los estudiantes continúan mostrando dificultades para aprender conceptos sobre resistencia, corriente y voltaje. Esto aun y cuando las estrategias fueron diseñadas en base en investigación.

Además de las concepciones alternativas ya reportadas, se observa que existen otras dificultades que los alumnos presentan al realizar el análisis de corriente de un circuito mixto, intercambian las propiedades de los conceptos de corriente, voltaje, energía y potencia, batallan para distinguir cuándo un circuito está en serie o paralelo. Además, ignoran los cambios efectuados en un sistema, situación observada en el análisis de los incisos e) y f), que consideran que por el sólo hecho de que la rama es en serie, la cantidad de corriente es la misma, sin tomar en cuenta que un foco fue agregado en la misma rama.

Se considera importante que el tipo de actividades propuestas sean fomentadas en el laboratorio, pero además en el salón de clases. De esta manera el estudiante podrá tener más contacto con la observación de los fenómenos y podrá asimilar su comportamiento en la práctica. Es muy importante tomar en cuenta que se sugiere que se utilice la tecnología, tanto la recolección de datos a través de sensores como las simulaciones interactivas, con la mediación de estrategias que promuevan el aprendizaje de los alumnos. Ya que, por lo expuesto en los resultados, existen conceptos erróneos muy arraigados en el conocimiento de circuitos de los estudiantes y eso es algo que han venido aprendiendo a través de su vida escolar, principalmente.

Actualmente, nos encontramos en proceso de investigación de estas concepciones para poder proponer alternativas de implementación con estrategias de aprendizaje y tecnología de instrucción, que nos ayuden a mejorar el aprendizaje de los estudiantes y que como resultado de este aprendizaje muestren menos concepciones alternativas después de la instrucción.

NOTAS

Los autores agradecen el apoyo recibido por el Departamento de Física de la universidad donde esta investigación fue llevada a cabo, especialmente al Director del Departamento, Rodolfo Rodríguez, al coordinador de los laboratorios, Quetzal García y al coordinador la materia de Electricidad y Magnetismo, Francisco Rodríguez. También a los profesores de electricidad y magnetismo quienes nos permitieron aplicar el Problema Conceptual en el segundo examen parcial y a los instructores de laboratorio por su disposición y apoyo.

REFERENCIAS

- Docktor, J. L. y Mestre, J. P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(2), 1–58. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>
- Engelhardt, P. V. y Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98. <http://doi.org/10.1119/1.1614813>
- Hammer, D. (1996). More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64(10), 1316–1325.
- House, J. D. (2011). Effects of classroom computer instruction on mathematics achievement of a national sample of tenth grade students: findings from the education longitudinal study of 2002 (ELS: 2002) assessment. *International Journal of Instructional Media*, 38(4), 391–400.
- Keller, C. J., Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., & Pollok, S. J. (2006). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with Tutorials in Introductory Physics In undergraduate physics recitations. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 818, pp. 109–112). AIP. <http://doi.org/10.1063/1.2177035>
- McDermott, L. C. y Shaffer, P. (2001). *Tutoriales para Física Introductoria*. México, D. F., México: Pearson.
- Peşman, H. y Eryilmaz, A. (2010). Development of a Three-Tier Test to Assess Misconceptions About Simple Electric Circuits. *The Journal of Educational Research*, 103(3), 208–222. <http://doi.org/10.1080/00220670903383002>
- Quezada-Espinoza, M., Domínguez, A. y Zavala, G. (2016). Using RealTime Physics with different instructional technologies in a circuits lab. En *2016 Physics Education Research Conference Proceedings* (pp. 256–259). Sacramento, CA: American Association of Physics Teachers. <http://doi.org/10.1119/perc.2016.pr.059>
- Quezada-Espinoza, M., del Campo, V. y Zavala, G. (2015). Technology and research-based strategies: Learning and alternative conceptions. En *2015 Physics Education Research Conference Proceedings* (pp. 271–274). American Association of Physics Teachers. <http://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.063>



- Rehn, D. a., Moore, E. B., Podolefsky, N. S. y Finkelstein, N. D. (2013). Tools for high-tech tool use: A framework and heuristics for using interactive simulations. *Journal of Teaching and Learning with Technology*, 2(1), 31–55.
- Sokoloff, D. R., Thornton, R.K., y Laws, P. (2004). *RealTime Physics, Active learning laboratories*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Struck, W. y Yerrick, R. (2009). The effect of data acquisition-probeware and digital video analysis on accurate graphical representation of kinetics in a high school physics class. *Journal of Science Education and Technology*, 19(2), 199–211. doi:10.1007/s10956-009-9194-y
- Wieman, C. E., Adams, W. K. y Perkins, K. K. (2008). PhET: simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–3. <http://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Zavala, G. y Velarde, J. J. (2009). Estudio del aprendizaje en un curso de física universitaria usando simulaciones computacionales en la estrategia educativa. En *Congreso Nacional de Investigación Educativa* (pp. 1–13). Veracruz, Ver.