

BORDÓN

Revista de Pedagogía

NÚMERO MONOGRÁFICO / *SPECIAL ISSUE*

Educación STEM: tecnologías emergentes para
el aprendizaje científico
STEM education: emerging technologies for science learning

Alicia Palacios Ortega, Daniel Moreno Mediavilla
y Virginia Pascual López (editores invitados / *guest editors*)



Volumen 74
Número, 4
2022

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PEDAGOGÍA

USO DIDÁCTICO DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA FAVORECER LA PROGRESIÓN DE LOS MODELOS MENTALES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE CIRCUITOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Didactic use of a virtual laboratory to promote the progression of students' mental models of electric current circuits

ALFONSO PONTES PEDRAJAS
Universidad de Córdoba (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.93290

Fecha de recepción: 02/02/2022 • Fecha de aceptación: 05/04/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Alfonso Pontes Pedrajas. E-mail: apontes@uco.es

Cómo citar este artículo: Pontes Pedrajas, A. (2022). Uso didáctico de un laboratorio virtual para favorecer la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre circuitos de corriente eléctrica. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 145-160. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.93290>

INTRODUCCIÓN. Estamos desarrollando un proyecto de investigación sobre aprendizaje de conceptos físicos en la enseñanza universitaria, utilizando las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la calidad educativa. En este estudio se describe una experiencia sobre el uso didáctico de un programa de simulación de circuitos eléctricos que permite al alumnado realizar tareas de indagación y modelización, trabajando en el entorno virtual Phet-DC. **MÉTODO.** En la experiencia han participado 59 estudiantes de primer curso de ingeniería, que han cumplimentado un cuestionario de preguntas abiertas sobre circuitos eléctricos básicos, en la fase previa y posterior al proceso de enseñanza. Mediante una rúbrica de análisis cualitativo se han categorizado las respuestas de los participantes, identificando los modelos mentales sobre la corriente eléctrica que subyacen en sus explicaciones. **RESULTADOS.** En el pretest aplicado antes de la enseñanza se aprecia la existencia predominante de ideas acientíficas y modelos mentales de carácter alternativo en las respuestas del alumnado. Durante la experiencia los estudiantes analizan el comportamiento de diferentes tipos de circuitos en el laboratorio virtual, plantean hipótesis sobre el funcionamiento de tales sistemas y contrastan sus hipótesis previas con los resultados observados en cada simulación. Tras el desarrollo de esta experiencia educativa los resultados del postest muestran una mejora significativa en la comprensión y aplicación del modelo científico de corriente eléctrica por parte de los participantes. **DISCUSIÓN.** Tras utilizar un laboratorio virtual como principal recurso educativo, en esta experiencia se ha observado una evolución bastante positiva de los modelos mentales de los estudiantes sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos. Por ello podemos considerar que el uso didáctico de programas de simulación supone una mejora importante de la calidad de la educación científica.

Palabras clave: Educación superior, Física, Método educativo, Simulación, Aprendizaje por descubrimiento.

Introducción

En las últimas décadas se han realizado numerosas investigaciones educativas sobre las dificultades de aprendizaje en el dominio de la electricidad, poniendo de manifiesto que los estudiantes utilizan de forma intuitiva una serie de ideas personales y modelos mentales de carácter alternativo al hacer predicciones sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos más sencillos (Metioui *et al.*, 1996; Mei-Hung y Jing-Wen, 2005).

En los modelos mentales de los alumnos sobre la corriente eléctrica se combinan concepciones intuitivas y razonamientos espontáneos que implican un aprendizaje deficiente del modelo de corriente eléctrica, ya que tales modelos mentales se expresan como ideas no científicas resistentes al cambio durante la enseñanza tradicional, aparecen en diferentes contextos, persisten a través de diferentes niveles educativos y afectan al alumnado de diferentes países y edades (Pontes, 2020a). Estos modelos mentales de carácter alternativo se han detectado también en los razonamientos del profesorado de ciencia y tecnología durante el proceso de formación inicial (Gunstone *et al.*, 2009; Chazbeck y Ayoubi, 2018).

Para ayudar a los alumnos a superar las dificultades de aprendizaje del modelo de corriente eléctrica se han formulado, desde hace tiempo, diferentes propuestas metodológicas basadas en el enfoque constructivista y que ponen el acento en la necesidad de realizar actividades educativas orientadas a favorecer el aprendizaje reflexivo y la progresión de los modelos mentales de los estudiantes (Zeynep e Ibilge, 2011; Taramopoulos y Psillos, 2017). Entre tales propuestas cabe citar los estudios relacionados con el uso de analogías, simulaciones y otros recursos TIC tales como mapas conceptuales digitales, pizarra digital interactiva, realidad aumentada, animaciones, vídeos, etc. (Romero y Quesada, 2014; López-Simó *et al.*, 2018; Pontes, 2019).

Por tales motivos estamos desarrollando un proyecto de trabajo orientado a mejorar la comprensión

del modelo básico y avanzado de corriente eléctrica en primer curso de ingeniería, en el que se han utilizado de forma gradual diferentes estrategias y recursos TIC que favorezcan el aprendizaje basado en modelos y la reflexión en el aula (Oliva, 2019), tratando de experimentar diferentes propuestas metodológicas en el aula y de evaluar su influencia en el aprendizaje. En la primera fase de este proyecto se han utilizado mapas conceptuales elaborados con Cmap-Tools. En una fase posterior se han incorporado otros recursos TIC como la plataforma educativa Moodle, en la que se ubican los materiales didácticos elaborados para la enseñanza y aprendizaje de los temas de electricidad y, sobre todo, se han usado otras herramientas TIC de gran interés como simulaciones por ordenador y laboratorios virtuales (Pontes, 2022).

Los programas de simulación han experimentado en los últimos tiempos un importante desarrollo debido al gran avance de las TIC en aspectos como la rapidez de procesamiento y acceso a la información, la interactividad con los usuarios y la calidad visual de la información (Ronen y Eliahu, 2000; Develaki, 2019). Tales programas tienen una especial relevancia en la enseñanza de la física y en otras muchas materias del área científico-técnica, porque proporcionan una representación dinámica del funcionamiento de un sistema físico y permiten visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, mostrando la evolución del sistema representado y la interacción entre los diversos elementos que lo integran (Uddin y Zaheer, 2019). Los laboratorios virtuales pueden considerarse una variante de las simulaciones, en las que se muestra una representación del contexto de un laboratorio, permitiendo el desarrollo de un experimento simulado, con mayor o menor grado de interactividad e incluyendo el uso de instrumentos virtuales de medición de magnitudes (Pontes, 2022).

En las simulaciones y laboratorios virtuales se utilizan modelos de sistemas físicos donde se modifican algunos parámetros o variables y

se obtienen resultados observables que permiten realizar inferencias sobre la influencia de tales variables en el comportamiento del sistema representado (Balta, 2015; Yuliati *et al.*, 2018). Tales entornos virtuales ofrecen al alumnado la oportunidad de interactuar, reflexionar y aprender, participando de forma activa en el proceso educativo, ya que se pueden contrastar las ideas previas o hipótesis de partida sobre un problema con el resultado del experimento virtual y contrastar los modelos mentales iniciales de cada estudiante con los resultados que proporciona el modelo científico subyacente en el programa de simulación (Jaakkola y Nurmi, 2008; Achuthan *et al.*, 2017), lo cual puede servir como medio eficaz para favorecer la progresión de las concepciones de los alumnos sobre el tema en el que están experimentando virtualmente, como se ha puesto de manifiesto en numerosos estudios anteriores (Zeynep e Ibilge, 2011; Wade *et al.*, 2018; Develaki, 2019). Para aprovechar las ventajas educativas de los laboratorios virtuales en el aprendizaje reflexivo del tema de circuitos eléctricos hemos desarrollado una experiencia educativa que se describe a continuación.

Diseño de la experiencia y metodología de investigación

Contexto y objetivos

Este trabajo se inscribe en el marco de un proyecto de investigación educativa relacionado con el uso de diversas herramientas TIC para favorecer la implicación de los estudiantes en prácticas reflexivas de modelización, en el desarrollo de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II (FFI2), de primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica, que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba (Pontes, 2019). Las estrategias docentes y los recursos educativos relacionados con esta investigación se han centrado en el tratamiento didáctico del tema de circuitos eléctricos de corriente continua, que forma parte del

programa de dicha asignatura. Dentro de este contexto global, los objetivos específicos de esta investigación son los siguientes:

- Diseñar actividades de modelización científica y de indagación (o descubrimiento orientado) que permitan mejorar el aprendizaje significativo del tema de circuitos eléctricos de corriente continua, utilizando un laboratorio virtual como principal recurso didáctico.
- Utilizar un cuestionario de problemas abiertos que permita evaluar el conocimiento inicial y final de los estudiantes sobre el tema en cada experimentación.
- Analizar la evolución de los modelos mentales de los estudiantes universitarios sobre el funcionamiento de circuitos eléctricos de corriente continua y la influencia de la innovación metodológica llevada a cabo.

Características de la experiencia

Numerosos estudios sobre las dificultades de aprendizaje en el tema de los circuitos eléctricos han puesto de manifiesto el papel que desempeñan los modelos mentales y las concepciones personales de los estudiantes en el proceso educativo (Metioui *et al.*, 1996; Gunstone *et al.*, 2009). Por ello, el primer punto de partida de esta investigación ha sido la exploración de los conocimientos previos del alumnado sobre esta temática, utilizando un cuestionario de problemas abiertos sobre el funcionamiento de tres tipos de circuitos simples, integrados por baterías, lámparas y resistencias, que se pueden asociar en diferentes tipos de montajes (en serie, en paralelo o en montaje mixto). Los montajes eléctricos propuestos y las cuestiones incluidas en tales problemas se han mostrado en un trabajo anterior (Pontes, 2020a), describiendo con detalle los procedimientos de análisis cualitativo que se han empleado para evaluar las explicaciones que aportan los estudiantes al responder de forma abierta a las diversas cuestiones planteadas. Los resultados obtenidos en tal estudio

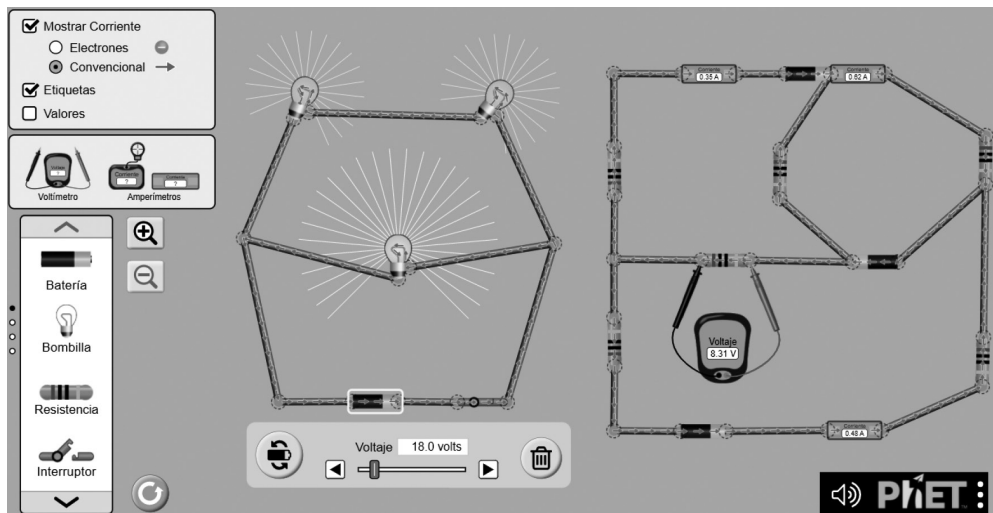
indican que los alumnos de primer curso de universidad utilizan diversos modelos mentales de carácter alternativo, sobre el funcionamiento de los circuitos simples, poniendo de manifiesto la falta de comprensión adecuada del modelo científico de corriente eléctrica.

Tras explorar los conocimientos previos de los estudiantes y sus dificultades para utilizar el modelo de corriente eléctrica se ha llevado a cabo, dentro de este proyecto de investigación, una primera experiencia educativa en la que se han utilizado mapas conceptuales digitales elaborados con el *software* CmapTools, como vía para fomentar la reflexión y el trabajo cooperativo al estudiar los modelos científicos que se utilizan en el tema de circuitos eléctricos, que se ha descrito detalladamente en un trabajo anterior (Pontes, 2020b). Tras la primera experiencia apreciamos que este tipo de actividades ayudan al alumnado a reflexionar sobre la estructura conceptual de los modelos científicos estudiados en clase, lo cual favorece una evolución positiva de sus concepciones previas en torno a los circuitos eléctricos. Pero también observamos que el nivel de cambio conceptual no es del todo satisfactorio, ya que los participantes todavía siguen utilizando bastantes

explicaciones y modelos de carácter alternativo tras el proceso de instrucción.

Por ello hemos llevado a cabo una nueva experiencia educativa que se ha centrado en la realización de actividades de análisis e indagación de circuitos eléctricos en un entorno virtual. La principal innovación educativa de esta experiencia ha sido el uso del laboratorio virtual denominado Kit de Construcción de Circuitos DC, del proyecto Phet Simulations, que es un *software* libre (<https://phet.colorado.edu/es/>) y de muy fácil manejo, cuyas características se han descrito de forma detallada en otros estudios (Yuliati *et al.*, 2018; Pontes, 2022). Como principales ventajas de este programa de simulación cabe destacar la posibilidad de construir circuitos sencillos o complejos, arrastrando diferentes tipos de elementos e instrumentos hasta la ventana de trabajo, hacer medidas de las principales magnitudes eléctricas (voltaje e intensidad de corriente), comprobar los cambios que experimentan tales magnitudes al realizar alguna modificación en una variable independiente o en la estructura del circuito y poder visualizar (mediante analogías) el brillo de lámparas, el flujo de corriente o el movimiento de portadores de carga por los cables del circuito.

FIGURA 1. Ejemplos de circuitos diseñados en el laboratorio virtual Phet-DC



En la figura 1 se muestra la interfaz de trabajo del laboratorio virtual Phet DC y algunos ejemplos de circuitos eléctricos que han sido diseñados y utilizados por los participantes en el desarrollo de esta experiencia. En la parte izquierda se muestra un circuito simple diseñado para indagar cómo cambia en el brillo de las lámparas al modificar el voltaje que proporciona la batería al circuito. En la parte derecha se muestra un circuito más complejo diseñado para medir magnitudes eléctricas y comprobar las leyes de Kirchoff.

En el proceso formativo desarrollado en esta experiencia los estudiantes han utilizado, además del laboratorio virtual, un programa-guía de actividades, dividido en varias secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA) que se han descrito en un trabajo anterior (Pontes, 2022) y que se resumen en el diagrama de la figura 2.

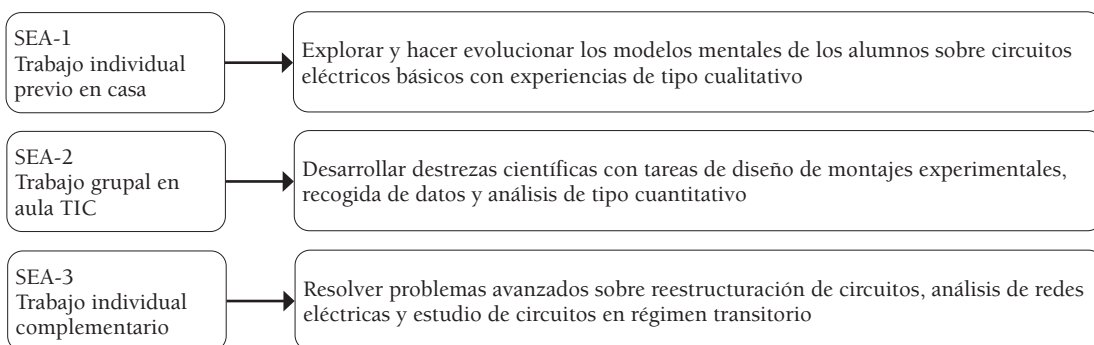
La parte principal del programa de actividades es la SEA-2, que tiene carácter obligatorio y está formada por un conjunto de tareas orientadas a favorecer la reflexión y la discusión de cuestiones, problemas o experimentos virtuales en pequeños grupos. Esta secuencia se realiza en una sesión de dos horas de clase en un aula de ordenadores conectados a Internet (aula TIC). Para desarrollar competencias de modelización y realizar procesos de descubrimiento orientado con

el *software*, los participantes deben abordar diversos problemas, emitiendo hipótesis y tratando de contrastarlas mediante experiencias virtuales que incluyen el diseño de circuitos y la recogida de datos sobre las magnitudes eléctricas (intensidad de corriente y voltaje) que caracterizan a los elementos del circuito. Al finalizar el desarrollo del tema de circuitos los estudiantes deben presentar un informe escrito del trabajo realizado en cada una de las secuencias de actividades.

Metodología de investigación

En este estudio se han recogido datos de una muestra formada por 59 estudiantes de primer curso de ingeniería (8 alumnas y 51 alumnos), con una edad media de 19.6 años, utilizando el mismo cuestionario de preguntas abiertas que se ha usado en la exploración de los conocimientos previos de los estudiantes, que se ha comentado anteriormente. Dicho cuestionario, cuyos ítems se muestran en la sección de resultados, se ha pasado también al finalizar el tratamiento del bloque de contenidos de electricidad de la asignatura FFI2, como parte de una prueba de examen más amplia, con objeto de analizar la influencia del tratamiento didáctico en la evolución de los modelos mentales de los alumnos sobre los circuitos de corriente eléctrica.

FIGURA 2. Secuencias de enseñanza-aprendizaje del programa de actividades



Para el análisis de datos recogidos con el citado cuestionario se clasificaron las respuestas de los alumnos en cuatro categorías generales: I) respuestas en blanco y respuestas que incluyen ideas confusas e incoherentes, II) explicaciones erróneas desde el punto de vista científico o modelos de pensamiento alternativo, III) respuestas aceptables desde el punto de vista científico pero deficientes en su explicación o argumentación y IV) respuestas correctas que incluyen una explicación razonable y acorde con el modelo científico de corriente eléctrica. En el análisis de las respuestas de los estudiantes y su categorización han participado tres docentes expertos en la materia, que han colaborado en un proyecto de innovación docente, utilizando la rúbrica de evaluación diseñada por el investigador principal del proyecto (Pontes, 2020a).

Los datos cuantitativos recogidos tras la categorización anterior se han analizado con el programa SPSS y se ha realizado un análisis de frecuencias relativas (%), que permite identificar la extensión de los diferentes modelos de pensamiento en cada pregunta del cuestionario, tanto en la fase previa como en la fase posterior a la instrucción. Al realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos en ambas fases, mediante una prueba estadística de contraste no paramétrico (prueba de Wilcoxon), se ha observado que las diferencias son significativas en todos los ítems (con valores de p inferiores a .05 en todos los casos). En la sección de resultados se muestran los porcentajes de respuestas correspondientes a los diferentes ítems del cuestionario en las cuatro categorías descritas, en ambas aplicaciones del cuestionario.

Resultados

En esta sección se muestran los resultados recogidos en cada uno de los problemas del cuestionario y se comparan los datos de la prueba de conocimientos iniciales con los datos obtenidos tras la experiencia educativa.

Modelos mentales sobre un circuito de varios elementos en serie

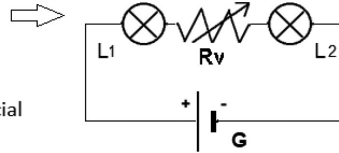
En torno al primer problema (P1) del cuestionario usado en esta investigación, que se incluye en la figura 3, los estudiantes deben analizar un circuito de dos lámparas iguales y una resistencia variable R_v , conectados en serie con un generador ideal de corriente continua. Sobre este montaje los participantes han de hacer predicciones acerca del brillo de lámparas situadas a un lado y otro de la resistencia, los cambios en el brillo de las lámparas al aumentar el valor de la resistencia R_v y la reestructuración del circuito para valores extremos de la citada resistencia.

En la parte inferior de la citada figura se muestra el resultado del proceso de simulación de la primera cuestión de este problema (1.1), donde se aprecia que ambas lámparas brillan igual, como cabe esperar al aplicar el modelo científico de corriente eléctrica en un circuito de varios elementos en serie. En este laboratorio virtual también se pueden hacer indagaciones para verificar si las predicciones de los estudiantes respecto a las otras cuestiones se ajustan a la aplicación adecuada del modelo de corriente eléctrica. Por ejemplo, en la cuestión 1.2 se podría apreciar que ambas lámparas van a ir aumentando su brillo por igual a medida que disminuye el valor de la resistencia intermedia. Asimismo, en la cuestión 1.3 se podría observar que el brillo de L1 y L2 es máximo cuando la resistencia alcanza el valor mínimo (equivale a un cable o un interruptor cerrado) y que ambas lámparas dejan de brillar cuando la resistencia alcanza el valor máximo (equivalente a un interruptor abierto).

En la tabla 1 se muestran los resultados derivados de la categorización de ideas en cada uno de los tres ítems del primer problema, con arreglo a las cuatro categorías establecidas anteriormente (I, II, III y IV), reflejando los porcentajes de cada categoría en el pretest y post-test.

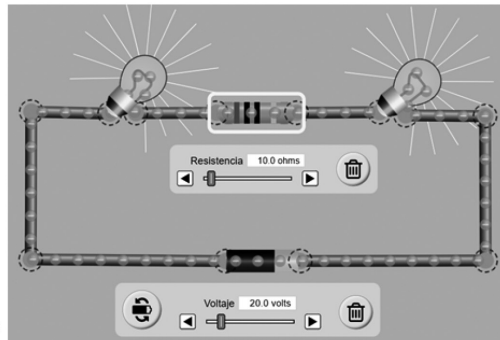
FIGURA 3. Análisis de un circuito de varios elementos en serie

1. El circuito de la figura está formado por un generador ideal G (que proporciona una tensión constante V_0) y dos lámparas iguales $L1$ y $L2$ (que tienen una resistencia interna de valor R_L) en serie con una resistencia externa variable, cuyo valor inicial es igual que la resistencia de las lámparas ($R_v = R_L$)



- 1.1. Explicar cuál de tales lámparas brilla más al principio
- 1.2. Predecir si se produce algún cambio en el brillo de ambas lámparas cuando el valor de la resistencia externa disminuye hasta cero (cable sin resistencia)
- 1.3. Predecir qué ocurre en el circuito cuando el valor de la resistencia externa aumenta hasta un valor infinito (equivale a interruptor abierto)

Ventana de simulación



En un trabajo anterior (Pontes, 2020a) se han descrito con detalle las dificultades que muestran los estudiantes sobre esta cuestión en la prueba de conocimientos previos (pretest) y el papel que desempeñan algunos modelos mentales de carácter alternativo en las respuestas incorrectas de los estudiantes a las tres cuestiones del problema P1. Entre tales dificultades e ideas de carácter alternativo, que se han detectado también en otras investigaciones previas (Metioui *et al.*, 1996; Gunstone *et al.*, 2009), cabe citar las siguientes: (1.1) la corriente eléctrica se consume al pasar por las resistencias y lámparas del circuito; (1.2) se usan razonamientos de tipo local y secuencial para predecir que el cambio R_v no afecta al brillo de la primera

lámpara; (1.3) se aprecia bastante incompreensión de los efectos de la ley de Ohm en una resistencia nula o de valor muy elevado.

En el desarrollo de esta experiencia educativa los estudiantes han usado el laboratorio virtual Phet DC para realizar actividades de aprendizaje por descubrimiento orientado, en las que han podido contrastar sus modelos mentales con el modelo científico de corriente eléctrica y han reflexionado sobre los resultados que ofrece el entorno virtual al implementar actividades de simulación e indagación sobre varios circuitos de elementos asociados en serie. Este hecho ha influido en los resultados apreciados al aplicar el postest, tras finalizar la experiencia, ya que

TABLA I. Evolución del conocimiento en cuestiones sobre un circuito en serie

P1 Ítems	Pretest				Postest			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1.1	7.4	34.5	27.8	31.3	0.0	11.8	37.3	50.9
1.2	13.1	37.7	29.6	20.5	3.4	18.7	33.8	44.1
1.3	9.8	35.2	30.6	25.4	1.7	17.0	33.9	47.5

según muestran los datos de la tabla 1 los participantes han mejorado notablemente en la comprensión y aplicación del modelo de corriente eléctrica a la hora de interpretar los efectos de la corriente eléctrica en este tipo de circuitos en serie. En efecto, se puede apreciar que el uso de modelos mentales alternativos en las cuestiones del problema P1 se reduce bastante (entre el 12% y el 19% aproximadamente) y se aprecia un aumento notable de ideas coherentes con el modelo científico de corriente eléctrica al combinar los resultados de las categorías III y IV en las tres cuestiones sobre circuitos en serie (entre el 81% y el 88% aproximadamente).

Modelos mentales sobre un circuito de varios elementos en paralelo

Con relación al segundo problema (P2) del cuestionario, que se incluye en la figura 2, los estudiantes deben analizar un circuito de dos lámparas iguales y una resistencia variable R_v , conectados en paralelo con un generador ideal de corriente continua.

Sobre dicho montaje los participantes han de hacer predicciones acerca del brillo inicial de las dos lámparas, los cambios en el brillo de tales lámparas al aumentar el valor de la resistencia R_v y la reestructuración del circuito para valores extremos de dicha resistencia. En la parte inferior derecha de la citada figura se muestra la simulación relativa a la primera cuestión (2.1), donde se aprecia que ambas lámparas brillan igual en la situación inicial (puesto que tienen igual resistencia) y que su brillo no cambia al aumentar la resistencia intermedia (cuestión 2.2), como cabe esperar al aplicar el modelo científico de corriente eléctrica, en un circuito de varias lámparas iguales conectadas en paralelo a la batería. Por otra parte, en este laboratorio virtual de circuitos también se puede apreciar que si la resistencia intermedia se anula (cuestión 2.3), entonces toda la intensidad de corriente circulará por esa rama y las lámparas dejarán de brillar porque se produce un cortocircuito (que acabará dañando la batería).

En la tabla 2 se muestran los resultados de los porcentajes obtenidos tras la categorización de

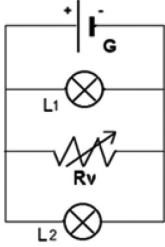
FIGURA 4. Análisis de un circuito de varios elementos en paralelo

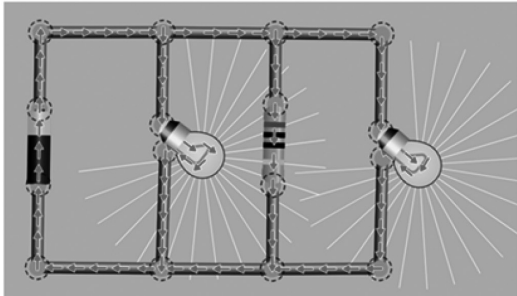
2. El circuito de la figura está formado por un generador ideal G (que proporciona una tensión constante V_0) y dos lámparas iguales L_1 y L_2 (que tienen una resistencia interna de valor R_l) en paralelo con una resistencia externa variable, cuyo valor inicial es igual que la resistencia de las lámparas ($R_v = R_l$)

2.1. Explicar cuál de tales lámparas brilla más al principio

2.2. Predecir si cambia el brillo de tales lámparas cuando el valor de la resistencia externa aumenta hasta el doble de su valor inicial ($R_v = 2R_l$)

2.3. Predecir qué ocurre en el circuito si el valor de la resistencia externa disminuye hasta cero (cable sin resistencia)





Ventana de simulación

➔

TABLA 2. Evolución del conocimiento en cuestiones sobre un circuito en paralelo

P2 Ítems	Pretest				Postest			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
2.1	10.7	29.5	31.9	28.7	1.6	12.7	36.5	49.2
2.2	14.8	43.4	25.5	17.3	3.2	17.5	33.3	45.9
2.3	18.2	52.4	18.9	11.5	4.8	26.9	31.7	36.5

ideas correspondientes a los tres ítems del 2.º problema, con arreglo a las cuatro categorías establecidas anteriormente. Tales porcentajes permiten contrastar los resultados de cada categoría obtenidos en el pretest con los datos del postest logrados tras el desarrollo de esta experiencia.

En las tres cuestiones del segundo problema también se aprecian elevados porcentajes de respuestas erróneas en el pretest, sobre todo en los ítems 2.º y 3.º, a pesar de que se trata de un circuito bastante simple. En las respuestas incorrectas a tales cuestiones (categorías I y II) se aprecian modelos mentales de carácter alternativo sobre la asociación de elementos en paralelo, analizados con detalle en un estudio anterior (Pontes, 2020a) y que se han detectado también en otras investigaciones (Gunstone *et al.*, 2009; Balta, 2015). Entre tales dificultades e ideas de carácter alternativo, cabe citar las siguientes: (2.1) la corriente eléctrica se va debilitando con la distancia a la pila de modo que la bombilla L1 brilla más que L2; (2.2) se usan razonamientos de tipo local y secuencial para predecir que el aumento de R_v solo afecta al brillo de L2, o que ambas lámparas disminuyen su brillo al aumentar la resistencia global del circuito; (2.3) se observa una incomprensión elevada del efecto cortocircuito que produce una resistencia nula en paralelo con las otras lámparas del sistema.

Al analizar los resultados de la tabla 2 se aprecia una evolución positiva al comparar los datos de la prueba inicial (pretest) con los datos obtenidos tras el desarrollo de esta experiencia

(postest), mostrando que ha mejorado bastante la comprensión de las ideas clave del modelo científico aplicadas al análisis de un circuito de varios elementos asociados en paralelo. En efecto, al utilizar un laboratorio virtual de circuitos eléctricos en el aprendizaje interactivo de este tema hemos observado que los participantes han progresado significativamente en la evolución de sus concepciones, ya que el uso de modelos alternativos sobre este tipo de circuitos se reduce bastante (oscilando entre el 13% y el 26% aproximadamente) y se aprecia un aumento bastante interesante de ideas científicas en las tres cuestiones planteadas sobre este tema (que varían entre el 68% y el 86% aproximadamente).

Modelos mentales sobre un circuito de varios elementos en montaje mixto

En cuanto al tercer problema (P3) del cuestionario, que se describe en la figura 5, los estudiantes deben analizar el funcionamiento de un circuito de varios elementos conectados en montaje mixto, que está formado por un generador ideal, dos lámparas iguales y una resistencia variable R_v , de modo que la bombilla L1 está conectada en serie con la resistencia R_v y la bombilla L2 queda conectada en paralelo con la rama anterior. En relación con este montaje, los participantes deben hacer predicciones sobre la bifurcación de la corriente eléctrica en un nudo y deben explicar cómo cambia la intensidad de corriente del generador al cambiar el valor de la resistencia R_v . También deben predecir cómo

afecta el aumento de R_v en la potencia eléctrica de las dos ramas diferentes que están conectadas en paralelo y los cambios en la intensidad de corriente y el voltaje que se producen en los dos elementos conectados en serie (L_1 y R_v).

En la parte inferior de la figura 5 se muestra el resultado del proceso de simulación de la primera cuestión de este problema (3.1), donde se aprecia que la lámpara L_2 brilla más que L_1 porque esta lámpara está en serie con R_v , como cabe esperar al aplicar el modelo científico de corriente eléctrica en este circuito mixto (mayor intensidad de corriente en la rama de menor resistencia). Respecto a la cuestión 3.2, el entorno de simulación permite apreciar que el amperímetro va marcando una intensidad de corriente menor a medida que aumenta el valor de R_v , porque el modelo científico indica que en tal caso aumenta la resistencia total del circuito. Asimismo, al analizar la cuestión 3.3 se observa que la lámpara L_1 disminuye su brillo a medida

que aumenta R_v , mientras que la bombilla L_2 sigue brillando igual que antes (por estar en paralelo con la batería). Por último, en torno a la cuestión 3.4, al situar un amperímetro en la rama primera, conectar un voltímetro en los bornes de la lámpara L_1 y otro en los extremos de la resistencia R_v , se podría observar que la intensidad de corriente disminuye al aumentar R_v , lo cual explica la disminución del brillo de L_1 , la disminución de voltaje en dicha lámpara y el aumento de voltaje en R_v , ya que en esta rama se verifica la ley de Kirchoff de los voltajes en una malla cerrada.

En la tabla 3 se muestran los datos correspondientes al análisis de las respuestas de los estudiantes en los cuatro ítems del tercer problema, con arreglo a las mismas categorías de análisis utilizadas anteriormente, reflejando los porcentajes de cada categoría en el pretest y los datos del postest obtenidos tras la experiencia de aprendizaje que se ha desarrollado al utilizar el laboratorio virtual Phet DC.

Figura 5. Análisis de un circuito de varios elementos en montaje mixto

3. En la figura se muestra un circuito mixto formado por un generador ideal G (que proporciona una tensión constante V_0), dos lámparas iguales L_1 y L_2 que tienen la misma resistencia R_L , y una resistencia variable R_v cuyo valor inicial es igual que la resistencia de las lámparas ($R_v=R_L$)
- 3.1. Explicar si la intensidad de corriente eléctrica que circula por la lámpara L_1 es igual o diferente que en la lámpara L_2

- 3.2. Si en un determinado instante aumenta el valor de R_v hasta el doble de su valor inicial, explicar si se produce algún cambio en la intensidad de corriente eléctrica que suministra el generador al circuito
- 3.3. Explicar si se produce algún cambio en el brillo o potencia luminosa de la lámpara L_2 , al aumentar el valor de R_v
- 3.4. Explicar si se produce algún cambio en la diferencia de potencial de la resistencia R_v y en el brillo de la lámpara L_1 , al aumentar el valor de R_v

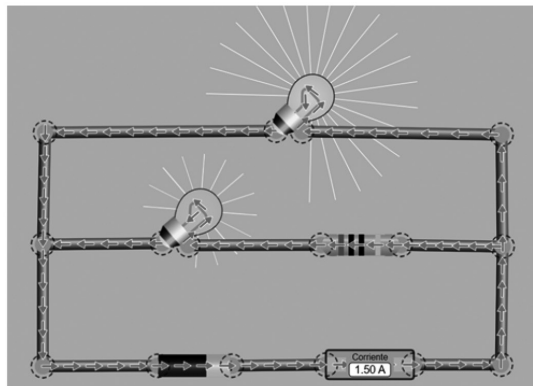
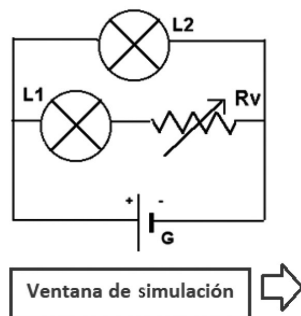


TABLA 3. Resultados del análisis de respuestas en cuestiones sobre un circuito mixto

P3 Ítems	Pretest				Postest			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
3.1	17.6	50.3	19.8	12.3	6.8	20.3	33.9	38.9
3.2	14.8	71.7	8.6	4.9	10.2	33.9	27.1	28.8
3.2	17.3	61.7	7.4	13.6	8.5	28.8	30.5	32.2
3.4	16.0	69.2	11.1	3.7	11.8	30.5	28.8	30.5

En los resultados mostrados en la tabla 3 se puede observar la existencia de porcentajes muy altos de respuestas erróneas en el pretest, sobre todo en los ítems 2.º y 4.º, ya que en este problema se trata de analizar un circuito un poco más complejo que los dos anteriores. En las respuestas incorrectas a tales cuestiones se aprecian modelos mentales de carácter alternativo sobre la asociación de varios elementos en un montaje mixto, que se ha analizado detalladamente en un estudio anterior (Pontes, 2020a). Muchas de estas dificultades de los estudiantes sobre los circuitos mixtos se han detectado también en otras investigaciones previas (Metioui *et al.*, 1996; Mei-Hung y Jing-Wen, 2005). Entre las ideas de carácter alternativo que se han encontrado en las respuestas a las cuestiones del P3 observamos, de nuevo, la incidencia del modelo de consumo de la corriente eléctrica, el uso reiterado de razonamientos de tipo local y secuencial, la falta de comprensión significativa de las leyes de Kirchoff y la confusión que muestran los estudiantes de este nivel entre las magnitudes intensidad de corriente y voltaje. Esta falta de diferenciación entre dos magnitudes básicas influye apreciablemente en la idea de que un generador ideal proporciona una intensidad de corriente constante al circuito, independientemente de los cambios que se produzcan en su estructura o en el valor de alguna de sus variables independientes.

Finalmente, los resultados de la tabla 3 muestran una evolución positiva al comparar los datos del pretest y el postest. En los resultados

obtenidos tras el desarrollo de esta experiencia se aprecia una mayor utilización de las ideas clave del modelo científico de corriente eléctrica al responder a las cuestiones planteadas en este problema. En efecto, al utilizar el programa de simulación Phet DC hemos observado que los participantes alcanzan una mejor comprensión del funcionamiento de los circuitos eléctricos de tipo mixto, ya que el uso de modelos alternativos sobre este tema se reduce de forma apreciable (oscilando entre el 20% y el 34% aproximadamente) y se aprecia un aumento gradual de las explicaciones de carácter científico en las cuatro cuestiones que integran el problema P4 (variando entre el 56% y el 73% aproximadamente). No obstante, aunque los resultados de esta experiencia muestran la utilidad del laboratorio virtual para mejorar la comprensión del funcionamiento de los circuitos eléctricos, seguimos apreciando unos niveles relativamente importantes de predicciones erróneas en las cuestiones 3.3, 3.4 y 3.2. Por tanto, sería conveniente seguir mejorando las actividades de simulación de circuitos de tipo mixto para avanzar en la comprensión y utilización adecuada del modelo científico de corriente eléctrica en este tipo de montajes.

Discusión y conclusiones

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ejercen actualmente una gran influencia en la renovación de los métodos de enseñanza y en la mejora de la formación

docente (Marín, 2017; Miotto *et al.*, 2002), ya que ofrecen la posibilidad de utilizar interesantes herramientas didácticas en el aula y permiten implementar estrategias educativas innovadoras, especialmente en la educación superior de carácter científico-técnico (Romero y Quesada, 2014).

En cuanto a las aplicaciones de las TIC hay que señalar que las simulaciones por ordenador suponen un gran avance para la investigación científica contemporánea y constituyen también una importante herramienta educativa. En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, se han desarrollado durante las últimas décadas numerosas investigaciones que han puesto de manifiesto las importantes posibilidades educativas de las simulaciones y laboratorios virtuales (Achuthan *et al.*, 2017; Develaki, 2019), evaluando su impacto en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, analizando los factores que afectan a su eficacia educativa (Jaakkola y Nurmi, 2008; Yuliati *et al.*, 2018) y destacando, entre otros aspectos, la posibilidad de ayudar a los estudiantes a desarrollar competencias científicas al poder trabajar con modelos o realizar indagaciones y experimentos virtuales (Chazbeck y Ayoubi, 2018; Uddin y Zaheer, 2019).

En esta línea de trabajo hemos realizado una experiencia educativa, que forma parte de un proyecto de trabajo más amplio relacionado con la aplicación de estrategias innovadoras y recursos TIC para mejorar el proceso de aprendizaje de modelos físicos en la enseñanza universitaria (Pontes, 2019). Los modelos juegan un papel fundamental en la ciencia y en la educación científica, al actuar como mediadores entre la realidad y la teoría (Oliva, 2019). Por ello, en la investigación educativa actual se concede importancia a la necesidad de favorecer la progresión de los conocimientos científicos de los alumnos mediante actividades de modelización relacionadas con el uso de simulaciones, analogías y experimentos mentales (Mei-Hung y Jing-Wen, 2005; Balta, 2015; Yuliati *et al.*, 2018).

En esta línea de trabajo hemos llevado a cabo una experiencia sobre el uso educativo de un programa de simulación para ayudar a los estudiantes a superar las notables dificultades de aprendizaje significativo detectadas en numerosas investigaciones previas sobre el tema (Mettoui *et al.*, 1996; Gunstone *et al.*, 2009) y favorecer la comprensión adecuada del modelo de corriente eléctrica, realizando tareas de descubrimiento orientado en un entorno virtual y tratando de aportar evidencias empíricas sobre la utilidad didáctica de este tipo de innovaciones (Ronen y Eliahu, 2000; Zeynep e Ibilge, 2011; Wade *et al.*, 2018). En este sentido, conviene señalar que las simulaciones interactivas pueden actuar como interesantes herramientas para mejorar la educación científica cuando su aplicación docente se vincula a enfoques educativos contemporáneos, como pueden ser los trabajos sobre indagación y modelización con recursos TIC (Taramopoulos y Psillos, 2017; Uddin y Zaheer, 2019), en contraste con el uso inicial de tales programas, que se centraban principalmente en el desarrollo de habilidades para su manejo y en el apoyo al modelo de transmisión de conocimientos (Develaki, 2019).

Para evaluar el proceso educativo llevado a cabo en esta innovación docente se ha utilizado un cuestionario de preguntas abiertas, sobre el funcionamiento de algunos circuitos eléctricos básicos, que ha permitido recoger datos de un grupo de estudiantes de primer curso de ingeniería (Pontes, 2020a), procediendo a realizar un análisis comparativo de las respuestas de los participantes en la fase previa (pretest) y posterior (postest) al del laboratorio virtual Phet DC en el desarrollo de esta experiencia. Al comparar tales datos hemos observado una mejoría notable en la calidad de las explicaciones de los participantes sobre los problemas planteados en el cuestionario, tras la acción educativa implementada. Sin embargo, también hay que constatar que los modelos mentales de carácter alternativo no han desaparecido del todo en las respuestas a algunas de las preguntas sobre circuitos básicos planteadas en el cuestionario, lo

cual indica que algunas de las preconcepciones son persistentes (Metioui *et al.*, 1996; Balta, 2015) y que hay que seguir mejorando la calidad del proceso educativo. Por tanto, podemos destacar que las estrategias y recursos usados en esta innovación docente han contribuido a enriquecer y mejorar el proceso de aprendizaje, favoreciendo la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos (Pontes, 2022), pero quedan todavía aspectos que podrían mejorar en el aprendizaje del modelo científico de corriente eléctrica, de modo que sería conveniente seguir desarrollando nuevas experiencias que permitan avanzar en la mejora del proceso educativo sobre este tema.

Finalmente, hay que señalar que este estudio constituye, en realidad, una primera aproximación al tratamiento de un tema complejo, pues solo se han recogido datos sobre los conocimientos, previos y posteriores al proceso de instrucción, en

torno a problemas concretos que presentaban ciertas dificultades (Pontes, 2020b). Quedan, sin embargo, muchos aspectos por abordar respecto a los procesos de indagación y modelización que realizan los estudiantes al elaborar nuevos conocimientos sobre electrocinética y a tratar de diferenciar entre la influencia que ejercen los materiales didácticos, la acción explicativa del profesorado y el papel concreto que pueden desempeñar los programas de simulación en la mejora del proceso de aprendizaje. Sobre tales aspectos trataremos de avanzar en posteriores etapas de este proyecto de investigación.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto de investigación “Implicación de los estudiantes en prácticas reflexivas de modelización en la enseñanza de las ciencias” (EDU 2017-82518-P), financiado por la AEI.

Referencias bibliográficas

- Achuthan, K., Francis, S. P. y Diwakar, S. (2017). Augmented reflective learning and knowledge retention perceived among students in classrooms involving virtual laboratories. *Education and Information Technologies*, 22(6), 2825-2855. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9626-x>
- Balta, N. (2015). Development of 3-D mechanical models of electric circuits and their effect on students' understanding of electric potential difference. *European Journal of Physics Education*, 6(1), 15-24. <https://doi.org/10.20308/ejpe.80567>
- Chazbeck, B. y Ayoubi, Z. (2018). Resources used by Lebanese secondary physics teachers for teaching electricity: types, objectives and factors affecting their selection. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, 4(2), 118-128. <https://doi.org/10.21891/jeseh.409487>
- Develaki, M. (2019). Methodology and epistemology of computer simulations and implications for science education. *Journal of Science Education and Technology*, 28(4), 353-370. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09772-0>
- Gunstone, R., Mulhall, P. y McKittrick, B. (2009). Physics teachers' perceptions of the difficulty of teaching electricity. *Research in Science Education*, 39(4), 515-538. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9092-y>
- Jaakkola, T. y Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 271-283. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00259.x>
- López-Simó, V., Grimalt, C. y Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la pizarra digital interactiva a promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza*

- y *Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3302. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3302
- Marín, V. (2017). TIC para la educación inclusiva. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 69(3), 17-22. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2017.58633>
- Mei-Hung, C. y Jing-Wen, L. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), 429-464. <https://doi.org/10.1002/tea.20062>
- Metioui, A., Brassard, C., Levasseur, J. y Lavoie, M. (1996). The persistence of students' unfunded beliefs about electrical circuits: the case of Ohm's law. *International Journal of Science Education*, 18(2), 193-212.
- Miotto, A., Da Costa, A. y Suyo-Vega, J. (2022). Revisión sistemática sobre la formación inicial del profesorado en tecnologías digitales: iniciativas y posibilidades. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(1), 123-140. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.90806>
- Oliva, J. M. (2019). Algunas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Pontes, A. (2019). Recursos TIC para la innovación educativa en la enseñanza de la física universitaria. *Proceedings Book: III International Seminar of Science Education* (pp. 253-259). U. Porto Edições. <https://doi.org/10.24840/978-989-746-198-9>
- Pontes, A. (2020a). Evaluación de conocimientos previos de estudiantes universitarios sobre electrocinética e implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de modelos científicos. *IN-RED 2020: VI Congreso de Innovación Educativa en Red* (pp. 505-515). UPV. <http://dx.doi.org/10.4995/INRED2020.2020.11948>
- Pontes, A. (2020b). Una experiencia con mapas conceptuales y CmapTools sobre aprendizaje de modelos físicos. En E. López-Meneses, D. Cobos, L. Molina, A. Jaén y A. H. Martín (eds.), *Claves para la innovación pedagógica ante los nuevos retos: respuestas en la vanguardia de la práctica educativa* (pp. 3173-3182). Octaedro.
- Pontes, A. (2022). Actividades de indagación y modelización sobre circuitos de corriente eléctrica con ayuda de un laboratorio virtual. En N. Jiménez, L. Aragón, M. M. Aragón y J. M. Oliva (coords.), *Modelizar en las clases de ciencias: actividades y recursos útiles para la enseñanza y aprendizaje con modelos* (pp. 75-89). Octaedro.
- Romero, M. y Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 101-115. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.433>
- Ronen, M. y Eliahu, M. (2000). Simulation a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 14-26. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2729.2000.00112.x>
- Taramopoulos, A. y Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(2), 151-163. <https://doi.org/10.1111/jcal.12174>
- Uddin, Z. y Zaheer, M. H. (2019). Simulating physics experiments in spreadsheets - Experimenting with Ohm's law. *Physics Teacher*, 57(3), 182-183. <https://doi.org/10.1119/1.5092481>
- Wade, K., Demir, K. y Qureshi, A. (2018). Modeling strategies enhanced by metacognitive tools in high school physics to support student conceptual trajectories and understanding of electricity. *Science Education*, 102(4), 711-743. <https://doi.org/10.1002/sce.21444>
- Yuliati, L., Riantoni, C. y Mufti, N. (2018). Problem solving skills on direct current electricity through inquiry-based learning with PhET simulations. *International Journal of Instruction*, 11(4), 123-138. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.1149a>

Zeynep, U. e Ibilge, D. (2011). The effect of combining analogy-based simulation and laboratory activities on Turkish elementary school students' understanding of simple electric circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(4), 320-329.

Abstract

Didactic use of a virtual laboratory to promote the progression of students' mental models about electric current circuits

INTRODUCTION. We are developing a research project on learning physical concepts in university education, using Information and Communication Technologies (ICT) to improve educational quality. This study describes an experience on the didactic use of an electrical circuit simulation program that allows students to perform inquiry and modeling tasks, working in the virtual environment Phet-DC. **METHOD.** 59 first-year engineering students participated in the experience, completing an open-ended questionnaire on basic electrical circuits, in the previous and later stage to the teaching process. A qualitative analysis rubric was used to categorise the participants' answers, identifying the mental models about electrical current that underlie their explanations. **RESULTS.** In the pretest applied before teaching, the predominant existence of unscientific ideas and alternative mental models in the students' answers was observed. During the experience, students analyze the behavior of different types of circuits in the virtual laboratory, hypothesize about the functioning of such systems and contrast their previous hypotheses with the results observed in each simulation. After the development of this educational experience, the results of the post-test show a significant improvement in the understanding and application of the scientific model of electric current by the participants. **DISCUSSION.** After using a virtual laboratory as the main educational resource, a fairly positive evolution of the students' mental models about the functioning of electric circuits has been observed. Therefore, we can consider that the educational use of simulation programs represents a significant improvement in the quality of science education.

Keywords: *Higher education, Physics, Educational method, Simulation, Discovery learning.*

Résumé

Utilisation didactique d'un laboratoire virtuel pour améliorer la progression des modèles mentaux des étudiants sur les circuits de courant électrique

INTRODUCTION. Nous développons un projet de recherche sur l'apprentissage des concepts physiques dans l'enseignement universitaire en utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité de l'enseignement. Cette étude décrit une expérience sur l'utilisation didactique d'un programme de simulation de circuits électriques qui permet aux étudiants d'effectuer des tâches de recherche et de modélisation en travaillant dans l'environnement virtuel Phet-DC. **MÉTHODE.** 59 étudiants en première année d'ingénierie ont participé à l'expérience en remplissant un questionnaire de questions ouvertes sur les circuits électriques de base avant et après le processus d'enseignement. Une grille d'analyse qualitative a été utilisée pour catégoriser les réponses des participants, en identifiant les modèles mentaux sur le courant électrique sous-jacent à leurs explications. **RÉSULTATS.** Dans le pré-test appliqué avant l'enseignement, nous pouvons

apprécier l'existence prédominante d'idées non scientifiques et de modèles mentaux de nature alternative dans les réponses des étudiants. Au cours de l'expérience, les étudiants analysent le comportement de différents types de circuits dans le laboratoire virtuel, ils émettent des hypothèses sur le fonctionnement de ces systèmes et ils confrontent leurs hypothèses aux résultats observés dans chaque simulation. Après le déroulement de cette expérience pédagogique, les résultats du post-test montrent dans les participants une amélioration significative de la compréhension et de l'application du modèle scientifique du courant électrique. **DISCUSSION.** Après avoir utilisé un laboratoire virtuel comme principale ressource pédagogique dans cette expérience, une évolution assez positive des modèles mentaux des étudiants sur le fonctionnement des circuits électriques a été observée. On peut donc considérer que l'utilisation pédagogique des programmes de simulation représente une amélioration significative de la qualité de l'enseignement des sciences.

Mots-clés : *Enseignement supérieur, Physique, Méthode pédagogique, Simulation, Apprentissage par la découverte.*

Perfil profesional del autor

Alfonso Pontes Pedrajas

Profesor titular de universidad del Departamento de Física Aplicada, de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba. Imparte docencia en estudios de ingeniería, en el Máster de Profesorado de Secundaria y en el Máster de Educación Ambiental. Ha colaborado en diversos proyectos de innovación e investigación educativa, ha participado en numerosos congresos y ha publicado un número amplio de artículos en revistas educativas, relacionados con los temas de didáctica de la ciencia y la tecnología, representación del conocimiento en educación, recursos TIC en la docencia y formación del profesorado de secundaria.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-5798>

Correo electrónico de contacto: apontes@uco.es

Dirección para la correspondencia: Campus Universitario de Rabanales. Edificio Albert Einstein, 1.ª planta, 14014 Córdoba (España).