

Análisis de la idoneidad de una intervención didáctica para la enseñanza de la ley de Ohm, en el nivel universitario básico: uso de laboratorio remoto

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Analysis of the suitability of a didactic intervention for the teaching of ohm law, at the basic university level: use of remote laboratory

Juan Alberto Farina¹, Ignacio Evangelista², Sonia B. Concari^{1,2}, María I. Pozzo³, Elsa Dobboletta³, Javier Garcia-Zubia⁴, Gustavo R. Alves⁵, Unai Hernández-Jayo⁴ y Susana Marchisio²

¹Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, Zeballos 1341, CP 2000, Rosario, Argentina.

²Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Avda. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Ocampo y Esmeralda, CP2000, Rosario, Argentina.

⁴Universidad de Deusto, Unibertsitate Etorb., 24, 48007 Bilbo, Bizkaia, España.

⁵Instituto Politécnico de Porto, Rua Dr. Roberto Frias 712, Porto, Portugal.

E-mail: juanalbertofarina@gmail.com

Resumen

En este trabajo analizamos la idoneidad epistémica y cognitiva de una actividad implementada por un docente de Física con estudiantes universitarios de segundo año de carreras de ingeniería. La actividad propone utilizar la plataforma VISIR (laboratorio remoto) para llevar a cabo experimentos con circuitos de corriente continua destinada a profundizar algunos conocimientos relacionados con la ley de Ohm. Los resultados muestran que el uso de Laboratorio remoto es rápido, accesible y fácil de usar permitiendo la comparación entre valores medidos y valores teóricos. La perspectiva teórico metodológica se inscribe dentro del enfoque ontosemiótico (EOS), considerando particularmente la noción de idoneidad didáctica y los criterios asociados con la misma. Se detectan aspectos concretos de la práctica realizada que podrían ser mejorados para optimizar el aprendizaje de los estudiantes y se concluye que los criterios utilizados en el análisis constituyen herramientas adecuadas para la reflexión de los profesores en ejercicio sobre su propia práctica.

Palabras clave: Idoneidad didáctica; Criterios de idoneidad; Laboratorio remoto; Enseñanza de ley de Ohm.

Abstract

In this paper we analyze the epistemic and cognitive suitability of an activity implemented by a physics teacher with university students of second year of engineering careers. The activity proposes to use the VISIR platform (Remote Laboratory) to carry out experiments with DC circuits to deepen some knowledge related to the law of Ohm. The results show that the use of remote laboratory is fast, accessible and easy to use allowing the comparison between measured values and theoretical values. The theoretical methodological perspective is part of the ontosemiotic approach (EOS), considering in particular the notion of didactic suitability and the criteria associated with it. Specific aspects of the practice that could be improved to optimize student learning are identified. We conclude that the criteria used in the analysis constitute adequate tools for the reflection of in-service teachers about their own practice.

Key words: Didactic suitability; Suitability criteria; Remote laboratory; Teaching of Ohm's law.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño, implementación y evaluación de procesos de enseñanza y aprendizaje es una tarea compleja abordada por los profesores en el ejercicio de su actividad cotidiana. También es el centro de atención al que confluyen los esfuerzos de la investigación didáctica. Es importante que la Didáctica de las Ciencias brinde elementos para orientar, de manera fundamentada, la acción efectiva sobre la práctica. En ese sentido, la noción de idoneidad didáctica introducida en el marco del enfoque ontosemiótico (EOS) desarrollado en la didáctica de las matemáticas (Godino, Contreras y Font, 2006; Godino, Bencomo, Font y Wilhelmi, 2007), así como el sistema de indicadores empíricos que la acompañan, pueden constituir una herramienta orientada hacia la mejora progresiva de las prácticas de enseñanza.

La idoneidad didáctica es concebida como el conjunto sistémico de criterios para analizar la pertinencia o adecuación de un proceso de enseñanza en relación con una intención o proyecto educativo, siendo su principal indicador empírico la adaptación entre los significados personales logrados por los estudiantes y los significados institucionales pretendidos o implementados (Godino, Batanero y Font, 2006; Godino, Wilhelmi y Bencomo, 2005). La propuesta introduce criterios parciales de idoneidad atendiendo a las siguientes dimensiones: *epistémica* (relativa a los significados institucionales), *cognitiva* (significados personales), *mediacional* (recursos tecnológicos y temporales), *emocional* (actitudes, afectos, emociones), *interaccional* (interacciones docente-alumnos), y *ecológica* (relaciones intra e interdisciplinarias y sociales). Los trabajos antes citados definen tanto las dimensiones y criterios parciales como el marco teórico de referencia que permite caracterizarlos y operativizarlos.

La noción de idoneidad didáctica y las ideas subyacentes a la misma reconocen como antecedente la aproximación iniciada por Michelle Artigue en la década de los años ochenta, denominada Ingeniería Didáctica (Artigue, 1995; 2009; 2011). Se denominó con este término a una forma de trabajo didáctico equiparable con el trabajo del ingeniero quien, para realizar un proyecto, se basa en los conocimientos científicos de su dominio, pero debe trabajar con objetos mucho más complejos que los depurados de la ciencia y tiene que abordar prácticamente, con todos los medios disponibles, problemas que la ciencia no quiere o no puede abordar. Esta visión permite abordar dos cuestiones centrales: a) las relaciones entre la investigación y la acción en el sistema de enseñanza y b) el abordaje de las “realizaciones didácticas” en clase, desde una metodología específica en la investigación en didáctica.

Como metodología de investigación, la ingeniería didáctica se caracteriza por un esquema experimental centrado en la concepción, realización, observación y análisis de secuencias de enseñanza. Pero no recurre a enfoques comparativos con validación externa, basados en el análisis estadístico del rendimiento de grupos experimentales y grupos de control, sino que se ubica, por el contrario, en el registro de estudios de caso, con una validación esencialmente interna, a partir de la confrontación entre el análisis a priori y a posteriori.

Es indiscutible el papel que desempeña la enseñanza de la física en la formación de ingenieros además de ser una disciplina científica que se dicta en carreras de ingeniería. Por ello la integración teoría práctica no debe ser una expresión de deseo sino un amalgamamiento que debe darse continuamente. En ese sentido las prácticas de laboratorio ocupan un papel central en la enseñanza de la física.

Sin dejar de lado la interacción directa con el equipamiento de laboratorio una alternativa que se presenta ya muy a menudo en las universidades, es la utilización de una infraestructura de acceso remoto denominada laboratorio remoto que permite presentarles a los alumnos un laboratorio dentro de una plataforma amigable permitiendo integrar la información a través de diferentes medios.

Pensando que la tecnología es vista como un facilitador del aprendizaje, los laboratorios remotos abiertos están cada vez más disponibles y de uso generalizado en todo el mundo. Proporcionan algunas ventajas sobre los tradicionales laboratorios prácticos o simulaciones, de modo de garantizar la utilización y uso de laboratorio en las prácticas experimentales de física. Los laboratorios remotos están disponibles en línea y constituyen una de las grandes innovaciones del sistema educativo (Marques y otros, 2014). Los mismos están diseñados de modo que los experimentos que se realizan por su disponibilidad, accesibilidad y seguridad brindan los mismos resultados que la experiencia real clásica (de Jong, Sotiriou y Guillet, 2014).

Varios autores parten de la hipótesis de que la actual generación de jóvenes puede ser considerada nativa de la cultura digital, por tanto estos jóvenes se apropian de las nuevas tecnologías de manera creativa de modo que hay insertos procesos mediante los cuales los jóvenes construyen significados y desarrollan prácticas cotidianas vinculadas a lo tecnológico (Bochinichio y Longo, 2009).

Las nuevas tecnologías no están predeterminadas, sino que sus significados y significaciones dependen de la complejidad y contingencia de las formas en que se insertan en los contextos y prácticas de uso. Así, la cultura digital sólo tiene sentido en la medida en que es utilizada, practicada por los actores sociales, entre los cuales destaca sobremanera la juventud (Merini Malillos, 2014).

Los estudiantes pueden experimentar en el caso de los laboratorios remotos como si utilizaran el laboratorio con sus propias manos ya que consiste de una herramienta de *software* y *hardware* que permite a los estudiantes usar equipos reales ubicados en otro lugar en una institución educativa, a través de Internet (Orduña y otros, 2013).

Sin embargo los aportes que brinda la tecnología basada en el laboratorio remoto desde la didáctica merecen su atención por lo que tener en cuenta su potencialidad didáctica podría favorecer la construcción del conocimiento.

Los laboratorios remotos no son una innovación en el campo de la Educación ya que datan de varias décadas, no así su utilización masiva por lo que hay que prestar atención al estudio de las ventajas e inconvenientes, desde el punto de vista didáctico.

Entre las desventajas de un laboratorio remoto podemos citar que los estudiantes no tienen la oportunidad de diseñar y controlar un fenómeno, como sí lo podrían hacer en un laboratorio clásico, aunque permite que los estudiantes se sientan del mismo modo que si estuvieran haciendo un laboratorio real, porque es así a pesar de acceder al equipo de forma remota.

Ma y Nickerson, (2006) señalan que en el aprendizaje con laboratorio remoto y laboratorio clásico prácticamente no hay diferencias en los resultados. A tal efecto (Corter y otros, 2004) muestran que los estudiantes que hacen experimentos con laboratorio remotos construyen el conocimiento del mismo modo que si lo hicieran con laboratorio clásico, mientras que si trabajan con simulaciones, éstas no son efectivas como los laboratorios remotos (Scanlon, Colwee, Cooper y DiPaolo, 2004).

En ese sentido los laboratorios remotos ofrecen a los estudiantes la oportunidad de aplicar más directamente las teorías aprendidas en el aula a los fenómenos del mundo real. En contraste, el uso de las simulaciones pueden llevar a los estudiantes a pasar por alto el vínculo entre la teoría y práctica (Lindsay y Good, 2005).

Sin embargo, otras investigaciones muestran que los estudiantes no siempre piensan en los laboratorios remotos como experimentos reales (Corter y otros, 2007) y cuya explicación estaría dada por la existencia de interfaces entre el usuario y lo que ve.

Nedic, Machotka y Nafalski (2003) observaron que desde la visión de los estudiantes muchos laboratorios remotos se asemejan a simulaciones sin que sienta el usuario que está en presencia de un laboratorio real. Nedic y Machotka (2006) utilizando una interfaz que incluía por ejemplo cámaras web, generaba en los estudiantes un sentimiento de estar trabajando con seguridad en un ambiente remoto.

La Facultad Regional Rosario de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) participa en carácter de institución asociada de acuerdo a lo propuesto en el proyecto "*Educational Modules for Electric and Electronic Circuits Theory and Practice following an Enquiry-based Teaching and Learning Methodology supported by VISIR*" (561735-EPP-1-2015-1-PT-EPPKA2-CBHE-JP-) aprobado y financiado por la *Education, Audiovisual and Culture Executive Agency (EACEA)* de la Unión Europea en su convocatoria Erasmus (*Higher Education – International Capacity Building – Unit A4*), y coordinado por el Instituto Politécnico de Porto, en la persona del Dr. Gustavo Alves.

El proyecto –en español– “Módulos Educativos para Circuitos Eléctricos y Electrónicos. Teoría y práctica siguiendo una metodología de enseñanza–aprendizaje basada en la investigación y apoyada por VISIR+” se focaliza en el área amplia de la Ingeniería Eléctrica y Electrónica y, dentro de ella, en el tema de la teoría y la práctica de circuitos. Su objetivo es definir, desarrollar y evaluar un conjunto de módulos educativos para este tema, que comprende: una infraestructura, una serie de ejercicios, experimentos y otros objetos de aprendizaje y una metodología.

La infraestructura está formada por un laboratorio remoto llamado *Virtual Instruments Systems In Reality (VISIR)*, que permitirá a los estudiantes explorar las cuestiones prácticas relacionadas con los circuitos eléctricos y electrónicos, y también a los docentes presentar el camino de la práctica a la teoría, y viceversa y un repositorio digital (por ejemplo, *Moodle*) que contiene los módulos educativos y el registro del progreso de todos los estudiantes.

A finales de 2005 se lanzó el Proyecto VISIR+, cofinanciado por el Programa Erasmus+ de la Unión Europea. Este proyecto tiene el objetivo de difundir y desarrollar el uso de laboratorios remotos en Latinoamérica, contribuyendo al fomento de asignaturas STEM en esas regiones. La iniciativa ha sido desarrollada entre instituciones de Europa y de Latinoamérica, entre ellas la Universidad Nacional de Rosario (UNR) y de la que participa la Facultad Regional Rosario de la UTN como institución asociada.

En este trabajo se describe y se realiza un análisis de la idoneidad de una intervención didáctica para la enseñanza de la ley de Ohm utilizando la plataforma VISIR en un curso universitario de segundo año de Ingeniería.

Hubo cuatro sesiones de laboratorio con 20 estudiantes de segundo año de ingeniería en la que participaron dos docentes para atender las demandas de los estudiantes cada uno de ellos trabajando con una PC durante las clases presenciales lo que permitió luego la utilización del recurso debido a la disponibilidad 24/7, o sea posibilitando el uso las 24 horas durante los 7 días de la semana.

La instalación del equipamiento físico de VISIR en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR está programada para los próximos meses. No obstante, como aún no se ha instalado, el equipamiento físico utilizado en esta oportunidad fue el que se encuentra en la Universidad de Deusto.

II. CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE POTENCIAL ELÉCTRICO, INTENSIDAD DE CORRIENTE Y LEY DE OHM

Existen numerosos artículos que tratan las concepciones alternativas de los estudiantes sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm o sus dificultades en la comprensión de los conceptos. Del relevamiento realizado, destacamos a continuación los resultados más relevantes.

Investigaciones realizadas con estudiantes secundarios o universitarios muestran que predominan en ellos nociones difusas acerca de los conceptos básicos de diferencia de potencial eléctrico, intensidad de corriente y la relación entre ellos dada por la ley de Ohm. La tabla I resume los principales hallazgos.

TABLA I. Concepciones de los estudiantes sobre potencial, intensidad de corriente y ley de Ohm.

Elemento / concepto	Concepciones de los estudiantes identificadas	Autores
Fuente	La pila es una fuente de corriente que suministra las cargas que se mueven a través del circuito. Corriente unipolar. La pila proporciona siempre la misma corriente. Independientemente del circuito al que esté conectada.	Periago y Bohigas (2005) Pontes y De Pro (2001)
Energía	La corriente que suministra la pila "se gasta" a medida que circula por el circuito. La corriente es sinónimo de energía.	Periago y Bohigas (2005) Furió y Guisasola (1999) Pontes y De Pro (2001)
Causa	La diferencia de potencial es una consecuencia del flujo de corriente, no su causa.	Periago y Bohigas (2005)
Fórmula	<i>Aplicación incorrecta de la ley de Ohm.</i> Uso de los conceptos en forma puramente operativa.	Periago y Bohigas (2005) Furió y Guisasola (1999)
Sistema	No interpretan un circuito como un sistema global.	Periago y Bohigas (2005) Furió y Guisasola (1999)
Conservación de la carga	Los estudiantes piensan en la diferencia de potencial como una consecuencia del flujo de cargas más que como su causa.	Furió y Guisasola (1999) Psillos (1998)
Generalización	Confunden magnitudes básicas tales como la diferencia de potencial y la intensidad de corriente, y las integran en una sola propiedad de la corriente eléctrica que se puede transportar, almacenar, gastar.	Pontes y De Pro (2001) Macias (2003)
Relación	Piensan que no puede existir diferencia de potencial si no hay intensidad de corriente.	Pontes y De Pro (2001)

Dimitris Psillos (1998) reflexiona acerca de las profundas dificultades acerca de los conceptos y del razonamiento que emplean los alumnos al momento de comprender los fenómenos de electricidad elemental y manifiesta que las dificultades de aprendizaje detectadas hacen que prestemos atención a cuestiones relativas al desarrollo de razonamiento sistémico, a la diferenciación conceptual, al establecimiento de relaciones fenomenológicas y a relacionar diferentes modelos.

Destaca que cuando los alumnos son involucrados en actividades donde utilizan medidas para estudiar de manera cuantitativa los diferentes aspectos de la relación funcional $V=IR$. Por ejemplo, una vez que los alumnos hayan adquirido el concepto cualitativo de resistencia y la representación microscópica de este concepto, son implicados en medidas directas de la resistencia con un ohmímetro. Seguidamente comparan estos datos con los valores de la misma resistencia calculados a partir de medidas dadas por el voltímetro y el amperímetro en un circuito formado por una pila y dos resistores en serie. Se toman igualmente unas medidas de manera de construir una representación gráfica de la relación $I=V/R$.

Pontes y De Pro (2001) han centrado su estudio en analizar las dificultades de aprendizaje de conceptos básicos de electrocinética y su evolución en diversos niveles del sistema educativo. Constataron que estudiantes de todos los niveles, asocian los términos de *corriente* y *energía eléctrica*, considerando que ambos conceptos representan lo mismo, porque, entre otras cosas, se producen en la pila y se «consumen» a lo largo del circuito. En todos los niveles educativos se utilizan ideas equivocadas acerca de la función de los elementos del circuito: la pila como almacén de corriente, la lámpara como consumidor, el interruptor abierto que deja pasar corriente por una rama sólo a los elementos que están por delante, etc. Con-

sideran el generador como una fuente de intensidad de corriente fija (al confundirla con la tensión), de modo que la corriente que sale de la pila se asume como una magnitud constante que parece ser independiente de la estructura del circuito y utilizan mecanismos de razonamiento local y secuencial, de modo que, al introducir una modificación en un punto del circuito centran su atención en ese lugar y creen que sólo se ve afectado ese punto o los elementos posteriores, sin tener en cuenta que el circuito es un sistema físico y que los cambios producidos en cualquier lugar afectan a todo el sistema.

Periago y Bohigas (2005) trabajaron con alumnos de Ingeniería Industrial e Ingeniería Química y se centraron en los conceptos básicos de potencial eléctrico e intensidad de la corriente, así como la relación fundamental entre ellos, expresada a través de la ley de Ohm. Las concepciones más destacadas por estos investigadores fueron: La pila es una fuente de corriente que suministra las cargas que se mueven a través del circuito. Esta idea, muy común en primaria y secundaria, aún persiste a nivel universitario, aunque en menor grado; la pila proporciona siempre la misma corriente independientemente del circuito al que esté conectada; la corriente que suministra la pila "se gasta" a medida que circula por el circuito; la diferencia de potencial es una consecuencia del flujo de corriente, no su causa; aplicación incorrecta de la ley de Ohm. Una de las dificultades que tienen los estudiantes cuando estudian circuitos eléctricos que estos investigadores consideran importante es que con frecuencia, los alumnos se inician en el estudio de la electricidad de manera muy teórica, teniendo pocas oportunidades de manipular y poner en funcionamiento circuitos y montajes eléctricos. En muchas ocasiones, el estudio de la electricidad se hace de manera rápida y superficial, basado principalmente en cálculos numéricos, desaprovechando las múltiples oportunidades que este tema brinda para el razonamiento y la libre exploración (Furió y Guisasola, 1998).

Furió y Guisasola (1999) destacan la importancia de investigar hasta qué punto los estudiantes tienen una concepción integrada de los fenómenos eléctricos. Los resultados que los investigadores obtuvieron los lleva a afirmar que para los estudiantes los conceptos trabajados en electrostática y los circuitos eléctricos son dos temas no relacionados e independientes. Parece que la concepción del campo eléctrico está fuertemente condicionada por la naturaleza del fenómeno: el campo eléctrico no es el mismo concepto cuando las cargas se están moviendo en el hilo que cuando están quietas. Los resultados se pueden interpretar pensando que los estudiantes no relacionan lo estudiado en electrostática y, en concreto, el concepto de *diferencia de potencial* con lo que sucede en el circuito. Así, el concepto de *potencial* que utilizan en las explicaciones no es preciso en lenguaje científico y, a la hora de interpretar lo que sucede, improvisan mecanismos en base a la intuición. Estas carencias impiden que los estudiantes interpreten el circuito como un sistema global.

Macias (2003) hace referencia a los trabajos de Steinberg (1992), Guisasola (1996) y Furió y Guisasola (1998). Estos autores indican que los alumnos no consideran a la diferencia de potencial eléctrico como el agente causante del movimiento de cargas eléctricas entre dos cuerpos, para ellos las cargas se mueven hasta que se produzca una igualación en la distribución de cargas de los cuerpos.

Destaca que de sus investigaciones surge que "los circuitos eléctricos no son caminos cerrados". Esta teoría la presentan los alumnos de todos los niveles del sistema educativo incluido el nivel universitario, aunque conforme subimos en los niveles desciende la problemática. Manifiesta que consideran un carácter dinámico para la corriente eléctrica, de forma que se utilizan palabras como "entrar" o "salir". No queda claro que comprendan que lo que entra o sale son los electrones; considerar la pila eléctrica como una fuente de corriente; considerar la corriente como un fluido que circula por unas cañerías (cables). Esto implicaría que la pila se comportaría como el depósito de ese fluido.

III. EL CONTEXTO DE LA EXPERIENCIA. LA ACTIVIDAD PROPUESTA

La experiencia fue realizada en un curso de Física II para carreras de ingeniería de la que participan alumnos de Ingeniería en Sistemas de Información (ISI), alumnos de Ingeniería Eléctrica (IE) y un solo alumno de Ingeniería Química (IQ), en particular el curso está compuesto por 20 alumnos de los cuales 5 de ellos cursan Ingeniería Eléctrica. La expectativa del profesor era complementar las clases teóricas y prácticas que se venían realizando tradicionalmente en la asignatura, con actividades innovadoras, que incorporaran laboratorio remoto y simulaciones. Procurábamos con ello lograr una mayor comprensión por parte de los estudiantes de ley de Ohm y circuitos de corriente continua. Luego de desarrollar una clase teórica sobre ley de Ohm y Circuitos sencillos de corriente continua el profesor propone a los alumnos una experiencia con laboratorio Remoto VISIR. Para ello el profesor preparó una guía con las actividades a realizar por los alumnos. En esa guía se reseña en primer lugar como se hace un experimento para medir resistencias en VISIR detallando paso a paso como entrar y activar el área de trabajo para proceder a la medición. En ese sentido también se explicita cual es el procedimiento para medir tensión y corriente. En otra guía establecemos el comportamiento de un circuito que podemos diseñar a voluntad y adaptar el mismo a los requerimientos que necesitamos. Una vez que el circuito está armado el profesor procede a

explicar cómo medir de modo que los alumnos comprendan que hay muchas formas de conectar los cables, siendo todas válidas y a continuación se explica cómo activar el multímetro para proceder a la medición de resistencia, tensión y corriente.



FIGURA 1. Se muestra una clase con estudiantes trabajando con laboratorio remoto.

Se presenta una tabla donde se describen los experimentos a realizar con un ejemplo de cómo proceder y se les pide que completen la tabla con alternativas diferentes de medición de resistencias cambiando valores y disponiendo de dos resistencias de 1KΩ y dos resistencias de 10 KΩ realizando todas las conexiones posibles.

TABLA II. Imágenes representativas de las diferentes configuraciones para medición de resistencias

Circuito	Cálculo Teórico	Experimento	Medición registrada	Comparativa teórico-Real
	$R_{TOTAL} = 1k + 1k = 2k$			Error= 0,019Ω Error%= 0,95%
	10K 10K			
	1K 10K; 10K 1K			
	1k; 10K 1k 10K			
	10k; 10K 2V			

En el último encuentro los estudiantes debían resolver una cuestión planteada según se presenta en la figura 2, con la consigna: Construir el circuito de la figura y responder las preguntas indicadas más abajo.

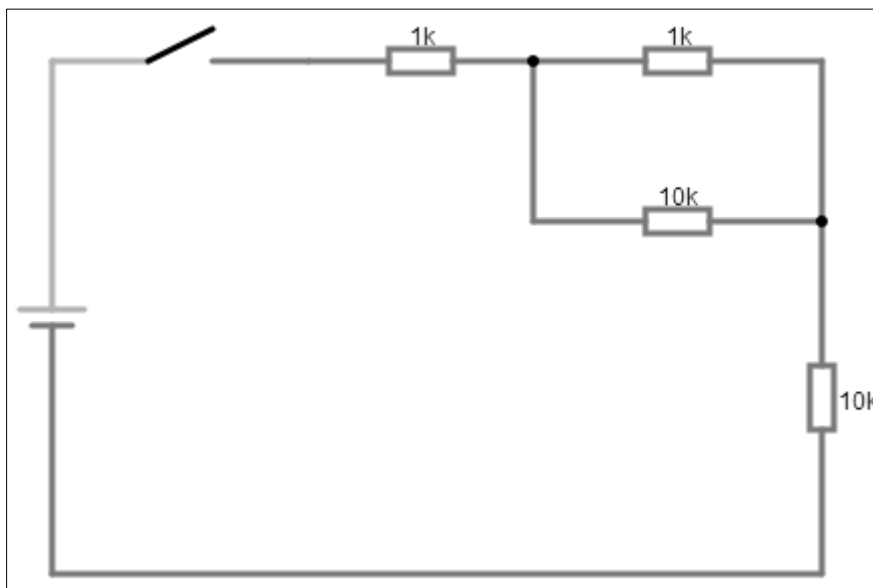


FIGURA 2. Circuito a construir.

Antes de comenzar a trabajar, los alumnos recibieron las instrucciones indicadas abajo.

- 1) Utilice una fuente de 10 V. Cierre la llave y mida la Resistencia equivalente, las corrientes por cada rama y las ddp en cada resistencia.
- 2) Compare estos resultados con los cálculos teóricos de las mismas.
- 3) Calcule teóricamente las corrientes por las ramas.
- 4) Calcule la potencia en cada resistencia y súmelas.
- 5) Calcule la potencia entregada por la fuente.

Responder las siguientes cuestiones.

- 1) ¿De cuántas formas posibles puede combinar tres resistores de distintos valores para obtener resistencias adicionales diferentes? ¿Cuáles son esas posibles combinaciones?
- 2) La relación $V = IR$ ¿se aplica a resistencias no óhmicas?
- 3) Observe las expresiones de potencia eléctrica, la primera en función del cuadrado de la corriente y la segunda en función del cuadrado de la tensión, la primera parece sugerir que si disminuye R , disminuye P , sin embargo la segunda sugiere lo opuesto. ¿Cómo explica esta aparente contradicción?
- 4) Suponga que en el circuito elemental de corriente continua que Ud. armó la resistencia es una lámpara recorrida por la corriente que midió con una tensión aplicada de 220 V. ¿Cuál es la potencia de la lámpara y el consumo después de 1000 h de alumbrado?
- 5) Una lámpara de 6V tiene una resistencia de 20 Ω . ¿Con qué resistencia hay que conectarla en serie para que funcione normalmente con una batería de 8 V? Haga el cálculo analítico; pruébelo con VISIR.
- 6) Explicar los resultados obtenidos en el apartado anterior

IV. METODOLOGÍA

Para el análisis de la experiencia, adoptamos la metodología propuesta en ingeniería didáctica, complementada con criterios generales asociados a la noción de idoneidad didáctica (Godino, 2011). El proceso experimental de la ingeniería didáctica consta de cuatro fases: análisis preliminares; concepción y análisis a priori de las situaciones didácticas; experimentación; análisis a posteriori y evaluación.

Los análisis preliminares contemplan, en primer nivel de elaboración, aspectos como: análisis epistemológico de los contenidos contemplados en la enseñanza; análisis de la enseñanza tradicional y sus efectos; análisis de las concepciones de los estudiantes, de las dificultades y obstáculos que determinan su avance; análisis del campo de restricciones donde se va a situar la realización didáctica efectiva. Esos análisis preliminares dan sustento al diseño del dispositivo didáctico a implementar.

El análisis a priori considera el dispositivo propuesto elaborando hipótesis sobre su idoneidad para regular el comportamiento de los estudiantes orientado a la construcción de los conocimientos esperados. Luego de la fase de experimentación (puesta en marcha del dispositivo didáctico) sigue una de análisis a posteriori que se basa en el conjunto de datos recogidos a lo largo de la experimentación.

Como ya lo habíamos indicado, en la confrontación de los análisis *a priori* y *a posteriori*, se fundamenta en esencia la valoración sobre la idoneidad del dispositivo. Tanto en uno como en el otro, nos hemos centrado en los significados. Siguiendo las ideas de la principal mentora de la ingeniería didáctica

(Artigue, 1995), si desde una perspectiva constructivista se considera la participación del estudiante en la construcción de sus conocimientos a través de la interacción con un medio determinado, la teoría de las situaciones didácticas que sirve de referencia a la metodología de la ingeniería didáctica ha pretendido, desde su origen, constituirse en una teoría de control de las relaciones entre el significado y las situaciones de enseñanza y aprendizaje propuestas y/o implementadas.

Nos referimos a los significados desde dos perspectivas: los *pretendidos*, que se ponen en juego y se pretende que los estudiantes adquieran a través de la actividad propuesta, y los *logrados*, es decir, los efectivamente alcanzados por los estudiantes. En el EOS, los significados referidos a un objeto de conocimiento son concebidos como entidades sistémicas que incluyen diferentes elementos, entre los que se cuentan las situaciones–problema vinculadas al objeto, el lenguaje en que se expresa, las acciones y procedimientos con él relacionados, y las definiciones, propiedades, leyes, y argumentaciones asociadas. Estos elementos de significado pueden ser contemplados en dos niveles: institucional y personal. De modo general, y a los efectos del presente estudio, podemos considerar que el nivel institucional contempla los significados pretendidos por la institución educativa en base a los documentos curriculares y las tradiciones de enseñanza, y el nivel personal corresponde a los significados construidos o logrados por los estudiantes. Al respecto, la idoneidad epistémica de un recurso de enseñanza vendría dada por el modo en que el mismo contempla y representa los aspectos relevantes de los significados pretendidos, mientras que la idoneidad cognitiva se vincula a su capacidad para lograr que los estudiantes adquieran dichos significados, considerando un nivel de complejidad adecuado, y estableciendo los puentes necesarios con los conocimientos previos.

En el caso que estamos presentando, se llevaron a cabo los análisis preliminares y el diseño del dispositivo. Luego de realizada la experiencia, trabajamos en el análisis de los resultados y la valoración de la propuesta. Nuestra tarea como investigadores se centró principalmente en el análisis de la idoneidad didáctica del recurso diseñado e implementado, que, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, fue abordada en sus aspectos epistémicos y cognitivos.

Las fuentes utilizadas fueron la tarea encomendada a los alumnos (guías de trabajo) y los informes presentados por ellos. El instrumento de análisis, consistió en un cuestionario que aborda los aspectos considerados relevantes, y cuyo diseño se inspiró en un estudio realizado por Godino y colaboradores (2006) y en los criterios de idoneidad elaborados desde el EOS (Godino, 2011). La actividad completa comprendió la experiencia con VISIR.

V. ANÁLISIS A *PRIORI* (IDONEIDAD EPISTÉMICA Y COGNITIVA)

El análisis a priori busca identificar cuáles son los elementos de significado puestos en juego a través de la actividad (situaciones–problema; lenguaje; técnicas; conceptos/propiedades; argumentos) y analizar en qué medida ellos guardan correspondencia con los significados institucionales pretendidos (idoneidad epistémica) y son accesibles y alcanzables por los estudiantes (idoneidad cognitiva). El mismo se ha organizado en base a un cuestionario que se aplica al recurso.

A. ¿Cuáles son las situaciones–problema que permite tratar el recurso?

La situación problema tratada es explorar cuestiones prácticas relacionadas con los circuitos eléctricos de corriente continua, diseñar circuitos a voluntad empleando cuatro resistencias, dos de 1 K y dos de 10 K, conectarlas de todas las formas posibles, diseño de experimento real que permite la confirmación de hipótesis y familiarizarse con manejo del material de laboratorio, efectuar correctamente mediciones y formular conclusiones a través de los valores medidos de resistencia equivalente, tensiones y corrientes para la propuesta de VISIR, pudiendo obtener/comprobar la ley de Ohm y deducir las reglas de Kirchhoff.

B. ¿En qué tipo de situaciones previas se apoya o debería apoyarse el recurso?

En el contexto de la experiencia, la plataforma se apoya en actividades que fueron planteadas a los estudiantes con anterioridad. La principal característica es que el alumno puede crear los propios circuitos.

C. ¿Posibilitan las situaciones la presentación de los enunciados y procedimientos fundamentales del tema según el significado de referencia? ¿Permiten la contextualización y ejercitación de los conocimientos que se pretende construir? ¿Posibilitan o promueven su aplicación a situaciones relacionadas?

Cada alumno puede crear su propio experimento. El experimento puede consistir en un circuito con una resistencia (1 K) en el que el alumno va dando valores a la tensión de entrada (0 V, 1 V, 2 V...6V) y medir la intensidad que circula por él. A partir de los valores medidos, construir una tabla, volcar los datos en una gráfica, para luego mediante ajuste de datos, representar la gráfica V-I en Excel para observar que se trata de una recta (relación lineal) y que su pendiente es más o menos igual a la resistencia del circuito (1 K), teniendo en cuenta que el experimento siempre introduce algún error. Este proceso se puede repetir para distintos valores de R (se pueden hacer conexiones serie-paralelo) y así repetir el experimento en distintos escenarios. La actividad planteada busca relacionar las cuestiones tratadas con VISIR y la teoría de circuitos. Se proponen actividades que promuevan su vinculación.

D. ¿Se proponen situaciones donde los estudiantes tengan la oportunidad de plantear problemas, reformularlos y/o de problematizarse (en el sentido de asumir los problemas como propios)?

La guía presentada a los estudiantes ofrece cuestiones relevantes que buscan problematizar aspectos importantes del tema y obtener conclusiones sobre las características y el comportamiento del sistema modelizado. El abordaje de esas cuestiones ayuda a reflexionar acerca de la importancia de la ley de Ohm y las mediciones de tensión y corriente.

E. ¿Qué variables de tarea permite operativizar VISIR? ¿Qué actividades/acciones/técnicas, propone el recurso para realizar, organizar, operativizar las situaciones problema planteadas en la actividad?

Al entrar y activar el área de trabajo denominada Breadboard (tablero de circuito), la plataforma permite arrastrar las resistencias y armar el circuito que queramos. Todos los agujeros de una columna están conectados entre sí por debajo (no las filas). Pincha sobre una resistencia y se arrastra hasta el sitio que quiera y repite el proceso hasta crear el circuito. Usamos el multímetro (DMM: digital multimeter) para medir el valor de la resistencia total de cada montaje. Para ello hay que colocar un cable en un extremo del circuito y otro en el otro extremo (rojo y negro, generalmente). Activar el multímetro para medir: hacer clic en Multimeter, mover la ruleta hasta el signo de ohm y hacer clic en Perform Experiment para medir. Para volver al Breadboard y montar y medir un nuevo circuito, basta con hacer clic en Breadboard. Pulsando Reset las resistencias vuelven a la parte superior del Breadboard y la zona de trabajo queda despejada, lista para un nuevo experimento. El procedimiento es similar para el caso de medición de corriente y tensión con la salvedad de que para poder medir corriente se coloca el instrumento antes de la resistencia.

F. ¿Es el lenguaje utilizado apropiado para describir el fenómeno y /o proceso puesto en juego y la actividad propuesta?

El lenguaje en VISIR es básicamente icónico, pudiéndose visualizar esquemáticamente los circuitos. En la actividad intervienen tanto el lenguaje icónico como el simbólico y verbal. Tanto los términos utilizados como los símbolos y representaciones si bien en primera instancia no son familiares para los estudiantes ya que algunos de ellos nunca vieron circuitos eléctricos en la escuela secundaria, previamente durante las clases teórico-prácticas han sido utilizados para describir la ley de Ohm y el cálculo de circuitos elementales de corriente continua.

G. ¿Qué conceptos, propiedades, nociones teóricas se consideran previos y cuáles se espera que emergerán de la utilización del laboratorio remoto?

Son conceptos previos: resistencia, resistividad, intensidad de corriente, diferencia de potencial, rama, malla, nudo. Estos conceptos han sido trabajados en actividades anteriores: clase teórica y de resolución de problemas de lápiz y papel. Como conceptos emergentes, se espera obtener nociones de que el circuito debe estar cerrado para que funcione, la diferencia de potencial es la variable independiente y que la pila es una fuente de tensión y no de corriente, analizar diferentes circuitos cualitativamente que permita reflexionar sobre la ley de Ohm.

H. ¿Tienen los alumnos los conocimientos previos necesarios para abordar la actividad? ¿Los significados pretendidos tienen una complejidad abordable, o una dificultad manejable?

Los conceptos previos necesarios para abordar la actividad fueron trabajados en las clases teórico prácticas y además en el contexto mismo de la actividad planteada. Es razonable suponer entonces que los

estudiantes puedan abordar la actividad favorablemente. De todas maneras no puede descartarse a priori la posible generación de conflictos semióticos en el desarrollo de la actividad y en la comprensión de la temática abordada. En ese sentido, un análisis de la literatura sobre concepciones alternativas o dificultades de comprensión del concepto de tensión y corriente es requerido para profundizar el análisis. Dada la relevancia de este aspecto, se lo trata separadamente en el apartado siguiente.

I. ¿Están las definiciones, procedimientos, proposiciones o explicaciones clara y correctamente enunciados, y adaptados al nivel educativo al que se dirigen?

Las definiciones, procedimientos y proposiciones están adaptados al nivel educativo al que se dirigen de modo que se espera que de la articulación de las actividades, emerjan y se afirmen los nuevos conocimientos esperados.

J. ¿En qué argumentación (justificación), se basa el laboratorio remoto?

La argumentación es inductiva a través de la observación concreta de la protoboard, la conexión detallada de las partes que componen el circuito y la lectura de los instrumentos de medición, de modo que si la conexión no fue bien realizada el usuario no puede medir y la actividad no resuelve el problema sino que es el alumno quien debe verificar las conexiones para que los instrumentos lean el resultado obtenido.

VI. ANÁLISIS A POSTERIORI (IDONEIDAD EPISTÉMICA Y COGNITIVA)

A. ¿Qué dificultades evidenciaron los alumnos para realizar la tarea propuesta? ¿Pudieron ejecutar los procedimientos solicitados?

Los informes evidenciaron que los alumnos trabajaron con VISIR sin dificultades y realizaron la tarea propuesta completando las actividades propuestas y respondiendo las preguntas solicitadas.

B. ¿Comprendieron adecuadamente la situación presentada en la actividad con VISIR?

No se observaron dificultades en la resolución de las actividades. Las dudas que manifestaban los estudiantes en cuanto a conexiones para medición de corriente y tensión fueron resueltas mientras trabajaban online.

C. ¿Establecieron relaciones adecuadas entre los diferentes lenguajes utilizados?

En cuanto al lenguaje, no se observaron mayores dificultades. Los estudiantes trabajaron con registros semióticos diferentes (lenguaje formal, verbal, icónico, etc.), relacionándolos adecuadamente. En realidad no evidenciaban confusiones en cuanto al modelo representado en el *protoboard*.

D. ¿Lograron los alumnos la apropiación de los conocimientos pretendidos?

Todos los alumnos alcanzaron, en la realización de la tarea, los niveles de comprensión y diferenciación conceptual esperados. Sus respuestas, particularmente en lo que se refiere a los temas planteados para reflexionar, mostraron que comprendían la vinculación entre las variables relacionadas en la ley de Ohm. Usaron la plataforma VISIR para llevar a cabo experimentos con circuitos de corriente continua, relacionaron con las leyes de Ohm y Kirchhoff. Se familiarizaron con los instrumentos de medición, componentes y cableado de los circuitos, al mismo tiempo que evidenciaron la propuesta con los verdaderos instrumentos de medición provistos por los profesores.

El haberseles otorgado a los estudiantes un nombre de usuario y contraseña para utilizar la plataforma durante las 24h, los estimuló para que pudieran realizar los experimentos en un marco de seguridad y confianza. Un hecho importante es que trabajaron con resultados reales, con procedimientos de medición reales y sin riesgo de inutilizar algún elemento. Al mismo tiempo, la plataforma permite que el alumno ante una situación de falla de conexión, el sistema no le responde el porqué de la falla, sino que el estudiante debe descubrir la existencia de una falla de conexión por sí mismo en el armado del circuito y corregirla.

Al terminar los experimentos con laboratorio remoto los estudiantes entregaron los informes en su totalidad con todos los ejercicios resueltos. Respondieron una encuesta que forma parte de los módulos

educativos sobre teoría y práctica de circuitos eléctricos y electrónicos basados en la metodología de enseñanza y aprendizaje reflexivo con el apoyo de VISIR.

La encuesta fue individual y nominal; constaba de 20 preguntas y debían marcar de acuerdo con su experiencia con VISIR entre cuatro posibles respuestas: 1) En desacuerdo; 2) Acuerdo en parte; 3) Acuerdo; 4) Muy de acuerdo. De las mismas se rescata:

- El 84% utilizó VISIR 24/7 por lo que realizaron experimentos frecuentemente.
- El 75% dice que VISIR le ayudó a comprender mejor temas de teoría.
- El 84% probó los experimentos varias veces cuando los resultados les parecían extraños.
- El 80% no tuvo temor de dañar el sistema de laboratorio remoto que cuando trabaja con circuitos en el laboratorio tradicional.
- El 88% declara que pudo utilizar los conceptos científicos para explicar los resultados de los experimentos

La mayoría de los alumnos pudieron observar que una resistencia es un componente electrónico que disminuye la corriente que pasa, es decir se opone al paso de la misma.

VII. DISCUSIÓN

Más allá de la discusión de si el laboratorio remoto es importante para la enseñanza de la Física, la experiencia realizada fue exitosa. Los estudiantes destacan que no tuvieron inconvenientes en el uso del laboratorio remoto y que la interfaz del sistema resultó clara y sencilla, como también el hecho de poder trabajar sin riesgo eléctrico alguno en cuanto a seguridad personal y en cuanto a la rotura de algún dispositivo.

Se han destinado recursos a la planificación de la actividad en el sentido que fue acompañada de una guía que orientaba al estudiante con preguntas y planteo de problemas que integraba la teoría y la práctica. El experimento llevado a cabo es una propuesta diferente a la habitual para tratar un tema curricular, integrando las nuevas tecnologías. En particular se destaca el hecho de poder comparar valores nominales de la resistencia con los valores medidos. Un eje importante de discusión se centra en la comparación entre los valores teóricos calculados de corriente y tensión con los valores efectivamente medidos.

En términos generales, el análisis indica que los modelos y situaciones exploradas constituyen un escenario interesante para ayudar a los estudiantes a desarrollar las ideas centrales de la ley de Ohm y llegar a plantear las leyes de Kirchhoff. Sin embargo, se observan aspectos que deberían considerarse para optimizar la implementación de la propuesta.

Por otra parte, la idoneidad epistémica y cognitiva no son los únicos aspectos a considerar. Las otras dimensiones de análisis planteadas para considerar la idoneidad didáctica (mediacional, emocional, ecológica, interaccional) aportan consideraciones importantes a tener en cuenta. Particularmente, la modalidad adoptada para la realización de la actividad en parte en clase y en parte fuera de la misma, hizo que hubiera interacción con los estudiantes durante la ejecución de la tarea y después de realizada la misma. El diálogo con los alumnos alerta a tiempo sobre interpretaciones erróneas o conflictos semióticos. Un caso especial que se genera en el uso de este laboratorio remoto es la conexión del amperímetro. La plataforma solo permite la conexión del mismo antes del elemento a medir corriente. Este hecho significativo permitió la intervención del docente alertando que es indistinto que el amperímetro se conecte antes o después del elemento a medir la corriente.

La implementación del laboratorio remoto VISIR permitió, entre otras cosas: familiarizarse con los instrumentos reales de medición a la distancia y a la vez manipular instrumentos reales en el aula; habilidad para realizar los montajes y las mediciones en las escalas permitidas y formular conclusiones respecto de las mediciones realizadas; modelizar y armar circuitos sencillos de corriente continua y comprender la relación entre corriente continua, tensión y resistencia eléctrica con la herramienta VISIR; así como describir los fenómenos que observaban en términos de ajustes entre práctica y teoría.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos: TEUTNRO0004551 de la Universidad Tecnológica Nacional y 561735-EPP-1-2015-1-PT-EPPKA2-CBHE-JP-de la Unión Europea.

REFERENCIAS

- Artigue, M. (1995). Ingeniería didáctica. En Artigue, M., Douady, R., Moreno, L. y Gómez, P. *Ingeniería didáctica en educación matemática*. Bogotá: Una empresa docente / Grupo Editorial Iberoamérica.
- Artigue, M. (2009). Didactical design in mathematics education. En Winslow, C. (Ed.), *Nordic Research in Mathematics Education. Proceedings from NORMA08*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Artigue, M. (2011). L'ingénierie didactique: un essai de synthèse. En Margolinas, C., Abboud-Blanchard, M., Bueno-Ravel, L., Douek, N., Fluckiger, A., Gibel, P., Vandebrouck, F. y Wozniak, F. (Eds.), *En amont et en aval des ingénieries didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Bochinichio, M. A. y Longo, A. (2009). Hands-on Remote Labs: Collaborative Web Laboratories as a Case Study for IT Engineering Classes, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2(4), 320-330.
- Corter, J. E., Nickerson, J. V., Esche, S. K., y Chassapis, C. (2004). Remote versus hands-on labs: A comparative study. In *Proceedings of the 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. Savannah.
- Corter, J. E., Nickerson, J. V., Esche, S. K., Chassapis, C., Im, S., y Ma, J. (2007). Constructing reality: A study of remote, hands-on, and simulated laboratories. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 14, 7-1-7-27. doi:10.1145/1275511.1275513.
- de Jong, T., Sotiriou, S. y Gillet, D. (2014). Innovations in STEM Education: the Go-Lab Federation of Online Labs, en: *Smart Learning Environment*, 1: 3. <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0003-6>
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Difficulties on learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 441-452.
- Godino, J. D. (2011). Indicadores de la idoneidad didáctica de procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *XIII CIAEM-IACME*, Recife, Brasil.
- Godino, J. D., Batanero, C. y Font, V. (2006). Un enfoque ontosemiótico del conocimiento y la instrucción matemática. Departamento de Didáctica de la Matemática. Universidad de Granada. http://www.ugr.es/local/jgodino/indice_eos.htm
- Godino, J. D., Bencomo, D., Font, V. y Wilhelmi, M. R. (2007). Análisis y valoración de la idoneidad didáctica de procesos de estudio de las matemáticas. *Paradigma*, XXVII(2), 221-252.
- Godino, J. D., Contreras, A. y Font, V. (2006). Análisis de procesos de instrucción basado en el enfoque ontológico-semiótico de la cognición matemática. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 26(1), 39-88.
- Godino, J. D., Recio, A., Roa Guzmán, R., Ruiz López, F. y Pareja Pérez, J. L. (2006). Criterios de diseño y evaluación de situaciones didácticas basadas en el uso de medios informáticos para el estudio de las matemáticas. *Números*, 64, 235-242.
- Godino, J. D., Wilhelmi, M. R., Bencomo, D. (2005). Suitability criteria of a mathematical instruction process. A teaching experience of the function notion. *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education*, 4(2), 1-26.
- Lindsay, E. D., y Good, M. C. (2005). Effects of laboratory access modes upon learning outcomes. *IEEE Transactions on Education*, 48, 619-631. doi:10.1109/TE.2005.852591.
- Ma, J., y Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 38(3), 1-24. doi:10.1145/1132960.1132961.

Macías, F. (2003). Enseñanza de la Electricidad desde una perspectiva constructivista en los diferentes niveles del sistema educativo: determinación de preconcepciones y propuesta de la utilización de nuevas metodologías didácticas para su corrección. (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura, España.

Marques, M. A., Viegas, M. C., Costa-Lobo, M. C., Fidalgo, A. V. y Alves, G. R. (2014). How Remote Labs Impact on Course Outcomes: Various Practices Using VISIR. *IEEE Transactions on Education*, 57(3), 151–159.

Merino Malillos, L. (2014). Una nueva mirada sobre los nativos digitales: conceptos, estudios y evidencias. *Revista vasca de sociología y ciencia política*, 57–58, 2763–2771.

Nedic, Z., Machotka, J., y Nafalski, A. (2003). Remote laboratories versus virtual and real laboratories. *Proceedings of the 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, 1, T3E-1–T3E-6. San Diego. <http://fie-conference.org/fie2003/index.htm>

Nedic, Z., y Machotka, J. (2006). The remote laboratory NetLab for teaching engineering courses. *Global Journal of Engineering Education*, 10, 202–212. <http://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/index.html>

Orduña, P., Almeida, A., Lopez de Ipina, D. y Garcia-Zubia, J. (2014). *Learning Analytics on Federated Remote Laboratories: Tips and Techniques*. En *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2014 IEEE*. DOI: 10.1109/EDUCON.2014.6826107

Periago Oliver, M. y Bohigas Janoher, X. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7(2).

Pontes, A., De Pro, A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 103–121.

Psillos, D. (1998). Enseñar la electricidad elemental. En Tiberghien, A., Jossem, E. L., y Barojas, J. (Eds.). *Resultados de Investigaciones en Didáctica de la Física en la Formación de Docentes*. International Commission on Physics Education (ICPE). <http://icar.univ-lyon2.fr/Equipe2/coast/ressources/ICPE/espagnol/toc.asp>

Scanlon, E., Colwee, C., Cooper, M., y DiPaolo, T. (2004). Remote experiments, reversioning and rethinking science learning. *Computers y Education*, 43, 153–163. doi:10.1016/j.compedu.2003.12.010.

Steinberg, M.S. (1992). What is electric potencial? Connecting Alessandro Volta and contemporary students. *Proceeding of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching*, Vol. II, 473–480. Kingston.