



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

Innovación en las facultades de ingeniería:
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



LECCIONES APRENDIDAS DE UN CURSO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS EN MODALIDAD HÍBRIDA

Michaël Canu, Mauricio Duque

Universidad de Los Andes
Bogotá, Colombia

Resumen

El curso de circuitos eléctricos para ingenieros mecánicos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes se ha venido desarrollando en una modalidad híbrida donde las presentaciones de los temas del curso se han desarrollado en videos cortos, mientras las horas presenciales se destinan a talleres y a laboratorios con fuerte acento en comprensión conceptual y predicción del comportamiento de circuitos eléctricos. La estrategia se validó utilizando un esquema experimental "pre-test/post-test" basada en una prueba estandarizada llamada "Concept Inventory" para circuitos eléctricos. Propusimos preguntas conceptuales al principio del curso y al final en el examen del curso para el primer semestre de 2016.

Desde los resultados obtenidos se analizan las ventajas y desventajas de la modalidad, así como la percepción que los estudiantes tuvieron sobre la estrategia general del curso. Se proponen finalmente ajustes para la nueva versión del curso para el segundo semestre del 2016.

Palabras clave: educación; circuitos eléctricos; clase invertida; evaluación

Abstract

The course of electrical circuits for mechanics at the school of Engineering at the University of los Andes has been developing in a hybrid mode where presentations of the course topics have been developed through short videos, while the contact hours are used to conduct workshops and laboratories with strong emphasis on conceptual understanding and predicting the behavior of electrical circuits. The strategy was validated by the use of a pre-test/post-test experimental design based on a standard test called "Concept Inventory" for

electrical circuits. Conceptual questions were proposed at the beginning of the course and at the end in the final exam for the first half of 2016.

From the results the advantages and disadvantages of the method as well as the perception that the students had on the overall strategy of the course are analyzed. settings for the new version of the course for the second half of 2016 is finally proposed.

Keywords: *education; electrical circuits; flipped class; assessment*

1. Introducción

El aprendizaje de conceptos y habilidades en torno a la manipulación de los circuitos eléctricos ha sido una tarea de prácticamente un siglo en los cursos típicos de programas como ingeniería eléctrica, electrónica, mecánica y similares en el nivel de pregrado. Los enfoques han variado de forma importante y es fácil encontrar en la WEB una buena cantidad de propuestas y de ofertas. La mayor parte de los artículos escritos sobre el tema reposan sobre el relato de casos puntuales sin que se mida el resultado educativo alcanzado.

De otra parte, con el crecimiento de las posibilidades de la virtualidad la presentación de los temas del curso que hace el profesor en clase puede perder vigencia, salvo en casos excepcionales de profesores con habilidades particularmente especiales para presentar los temas en conexión con la audiencia y no simplemente como un ejercicio en una vía. Incluso en estos casos varias universidades de primer nivel registran la clase de forma automática para que los estudiantes puedan revisar la presentación posteriormente.

En este marco puede resultar interesante pasar a la denominada “clase invertida” donde las presentaciones de los temas están pregrabadas de forma cuidadosa y en cortos videos que le permiten al estudiante revisar el tema antes y después de cada sesión, la cual se dedica más a fomentar el trabajo activo del estudiante en la solución de problemas y ejercicios tanto para desarrollar habilidades como comprensión conceptual.

Finalmente, la base de evidencias sobre como aprenden las personas y qué estrategias funcionan y cuáles no, van reduciendo el espacio para la libertad en metodologías de enseñanza como ha sucedido en muchas otras profesiones en la medida en que socialmente se van perfilando buenas prácticas, definidas como tal con base en las evidencias (Hattie, 2015). En educación, contrariamente a lo que se menciona a menudo, no se trata de innovar, sino de utilizar prácticas efectivas que promueven efectivamente los aprendizajes esperados.

2. Sustentos a la estrategia propuesta

En las dos últimas décadas, quizá un poco más, ha venido ganando terreno la idea de que innovar en educación, utilizar estrategias “constructivistas”, aplicar metodologías novedosas es la solución en educación. Nos

llenamos de discursos que giran más en torno a visiones filosóficas de la educación donde la validez de una práctica educativa se juzga desde la coherencia de un discurso y a veces su complejidad, que sobre las bases de la evidencia de aprendizajes y de prácticas sustentadas científicamente. Como en toda profesión, si bien la innovación juega un papel importante, ésta debe hacerse responsablemente. Sería inimaginable, si bien ha sucedido igualmente, que ingenieros “innovadores” decidan realizar diseños y ejecuciones de ingeniería contraviniendo buenas prácticas y normas de la ingeniería simplemente porque se trata de una innovación. Sin embargo esto es lo que sucede con cada curso que se monta en una “idea innovadora”, confundiendo lo que realmente significa la innovación (OECD, 2009), con la novedad y lamentablemente con la improvisación. En estos procesos a menudo el estudiante y sus aprendizajes quedan relegados a un segundo lugar.

Un número importante de meta-estudios (Hattie, 2009; Hattie & Yates, 2014) muestran que no necesariamente las estrategias “más innovadoras” son las más efectivas. La siguiente tabla presenta una pequeña parte del ordenamiento que estos estudios indican sobre el tamaño del efecto en los aprendizajes que pone en evidencia que algunos aspectos centrales deben ser rescatados de las prácticas que queremos abandonar, desde una nueva perspectiva y que muchos de los milagrosos métodos que se promueven, están ser simplemente un espejismo.

En esta tabla el punto neutro o típico de cualquier intervención con resultados promedios es 0,4. Esto es valores por debajo de este punto están produciendo un efecto en los aprendizajes inferior a lo que se logra en promedio. En este sentido, por ejemplo, utilizar los estilos de aprendizaje para enseñar no produce un efecto mayor que el promedio de intervenciones incluidas las clases denominadas “tradicionales!”.

	Factor	Tamaño del efecto
1	Altas expectativas de los estudiantes	1,44
2	Evaluación formativa	0,90
3	Credibilidad del profesor	0,90
4	Discusión en clase	0,82
5	Claridad del profesor	0,75
6	Relación profesor estudiante	0,72
7	Enseñanza de resolución de problemas	0,61
8	Instrucción directa	0,59
9	Mapas conceptuales	0,57
10	Videos interactivos	0,52
11	Motivación	0,48
11	Estilos de aprendizaje	0,40
13	Simulaciones	0,33
14	Aprendizaje basado en problemas	0,15
15	Control del estudiante sobre el aprendizaje	0,04
16	Repitencia	-0,17

Tomado de (Hattie, 2016)

Un examen de esta tabla puede facilitar algunas conclusiones:

- 1) La instrucción directa es importante (2,3,5,6,7,8) esto es, trabajar de forma directa en lo que debe aprender el estudiante, generando en éste altas expectativas de aprendizaje, en lugar de generar espacios en que el estudiante lo “descubra” por sí mismo (15).
- 2) Lo importante es el aprendizaje (1,2), la motivación del estudiante y sus propias expectativas (1,11), antes que lo innovadora de la estrategia (10,11,13, 14, 15) o simplemente “rajarlos” (16)
- 3) Si bien a primera vista podría estarse validando la enseñanza clásica donde el docente presenta el tema seguido de algunos ejercicios (8, 7), un examen más detallado muestra todo lo contrario, si bien la enseñanza directa y explícita y la claridad del docente son importantes (5, 7,8), esto debe hacerse de forma interactiva con el estudiante (1,2,4) para lo cual posiblemente no se requieran teorías pedagógicas generales, sino estrategias concretas en torno al objeto de aprendizaje como se propone en (Shulman, 2004) con poderosas herramientas para evaluar formativamente (2) (Dylan, 2011)

Desde esta perspectiva el curso de fundamentos de circuitos se propone con los siguientes componentes:

- 1) Enseñanza directa de conceptos, así como modelamiento de solución de problemas por medio de videos (clase invertida) para liberar el tiempo de la clase para desarrollar habilidades en la resolución de problemas.
- 2) Trabajo en clase en torno al desarrollo de habilidades para resolver problemas de la disciplina y en torno a discusiones sobre aspectos conceptuales de los circuitos.
- 3) Laboratorio focalizado en la solución de problemas concretos de circuitos eléctricos, vía el diseño y prueba de prototipos para resolver pequeños problemas y preguntas de investigación.

3. Breve presentación del curso

El curso se desarrolló con sustento en la plataforma de BlackBoard. Los videos, 20 en total, de duración entre 3 y 8 minutos cada uno se registraron utilizando CAMTASIA.

La siguiente tabla resume el desarrollo del curso:

Semana	Videos	Laboratorio
1	introducción al curso, circuitos sencillos R, Serie Paralelo, Ley de Ohm	
2	Solución de circuitos por nodos y por mallas,	Ley de ohm
3	Circuitos con fuentes AC y resistencias, Potencias y consumos en circuitos DC y AC	Ley de ohm
4	Thevenin y Norton	Circuitos resistivos
5	Máxima transferencia, Superposición	Circuitos resistivos
6	Fuentes controladas, Amplificadores operacionales.	Manejo software simulación

7		Teoremas fundamentales
8		Teoremas fundamentales
9		Teoremas fundamentales
10	Ecuaciones diferenciales de primer orden, Circuitos RC, Circuitos RL	Amplificadores operacionales
11		Amplificadores operacionales
12	Respuesta RL y RC a entradas senoidales, Fasores	Circuitos de primer orden – filtros
13		Circuitos de primer orden –filtros
14	Compensación factor de potencia, Video solución de circuitos AC por fasores.	Compensación factor de potencia
15		Compensación factor de potencia

4. El “Electric Circuit Concept Inventory”

Una característica fundamental del ingeniero experto en una área específica es la capacidad de utilizar conceptos disciplinarios para resolver problemas (Pellegrino, Di Bello, & Brophy, 2013).

Sin embargo, a menudo los estudiantes no son capaces de generalizar sus conocimientos a otros problemas y contextos que difieren de los que les permitieron construir dicho conocimiento. Desde hace tres décadas se vienen desarrollando diferentes pruebas de nivel conceptual para evaluar tanto los estudiantes de ingeniería que las metodologías de enseñanza utilizadas. Los *Concept Inventories* (CI) dan un buen ejemplo de la utilización de modelos conceptuales sobre la comprensión de los estudiantes para generar un conjunto de preguntas de manera sistemática (a partir de elementos cognitivos y de la manera de observar el razonamiento utilizado). El CI consiste en preguntas de respuestas múltiples en las cuales los distractores (proposición de respuestas incorrectas) fueron desarrollados primero para preguntas abiertas y analizar las respuestas dadas. Las preguntas se basan en la investigación en educación incluyendo investigaciones sobre las concepciones (erróneas o alternativas) de los estudiantes. De hecho, los distractores son en general representativos de las concepciones erróneas de los estudiantes y no son escogidas al azar como sucede con frecuencia en las evaluaciones de respuestas múltiples clásicas. Por eso, los CI están muy enfocados en un concepto particular y preciso de un área disciplinar como el concepto de fuerza, de leyes del movimiento, de mecánica estática, o dinámica, de electricidad, etc. Muchos CI son disponibles en educación en CTIM, en línea y de manera gratuita en internet (ver en <http://ciHUB.org>).

Varios autores desarrollaron CI en temas de electricidad como (Rahman & Ogunfunmi, 2010) o (Engelhardt Paula & Beichner, 2004) que concibieron una prueba conceptual sobre el tema de fundamentos de circuitos eléctricos llamada DIRECT (Determining and Interpreting Resistive Electric circuits Concepts Test). Este CI fue utilizado por ejemplo por (Getty, 2009) para evaluar una intervención didáctica basada en indagación con estudiantes de universidad (evaluación formativa y sumativa). La intervención descrita en este artículo utiliza este mismo CI con una metodología parecida en un marco pre-pos-test, pero sin un diseño experimental con grupo de control (lo que se llama diseño casi-experimental).

Las preguntas del ECI de Engelhardt and Beichner con menos correlación fueron excluidas de la prueba para disminuir el tamaño de esta, pasando de 29 a 22.

Un par de secciones del curso de Fundamentos de Circuitos Eléctricos pasaron la prueba al principio del primer semestre de 2016 y al final de dicho semestre, al mismo tiempo que la evaluación del curso. Ninguna corrección de la prueba fue propuesta a los estudiantes y el curso, aunque enfocado en la profundización del conocimiento conceptual de los estudiantes, no contenía ninguna de las situaciones de la prueba en los ejercicios de clase.

Este CI que contiene entonces las 22 preguntas de mejor correlación del ECI original de Engelhardt Paula and Beichner (2004) mide cinco aspectos de fundamentos de electricidad: el aspecto físico de los circuitos (esquemas), los circuitos equivalentes, la energía y la potencia, la corriente y la conservación de la corriente (Ley de Corriente de Kirchhoff, y el voltaje y la ley de ohm (Ley de Voltaje de Kirchhoff).

5. Resultados

La ilustración 1 muestra los resultados (calificación total) de las pruebas pre vs post-intervención en frecuencia (misma población de estudiantes). El promedio asociado al post-test es de 17,13 (N=63) mientras que el promedio a la prueba inicial (pre-test) fue de 10,66 (N=65) con errores estándares excluyentes. Engelhardt Paula and Beichner (2004), probaron 681 estudiantes de universidad con un promedio de 15,08 y 454 estudiantes de colegio con un promedio de 11,89. La herramienta ECI muestra ser confiable y discriminante en los artículos mencionados, y se puede decir que la intervención del curso llevo los estudiantes de un nivel promedio de colegio a un nivel más alto que el nivel universitario general de física. El promedio de los estudiantes que estudiaron fundamentos de electricidad con material clásico fue de 15 (SD=4,35) en el estudio de Engelhardt Paula and Beichner (2004) así que el efecto de nuestra intervención es de +0.8 desviación estándar con respecto a estos estudiantes lo que se puede considerar como un efecto muy significativo según se reporta en el análisis de varios meta estudios (Hattie, 2009).

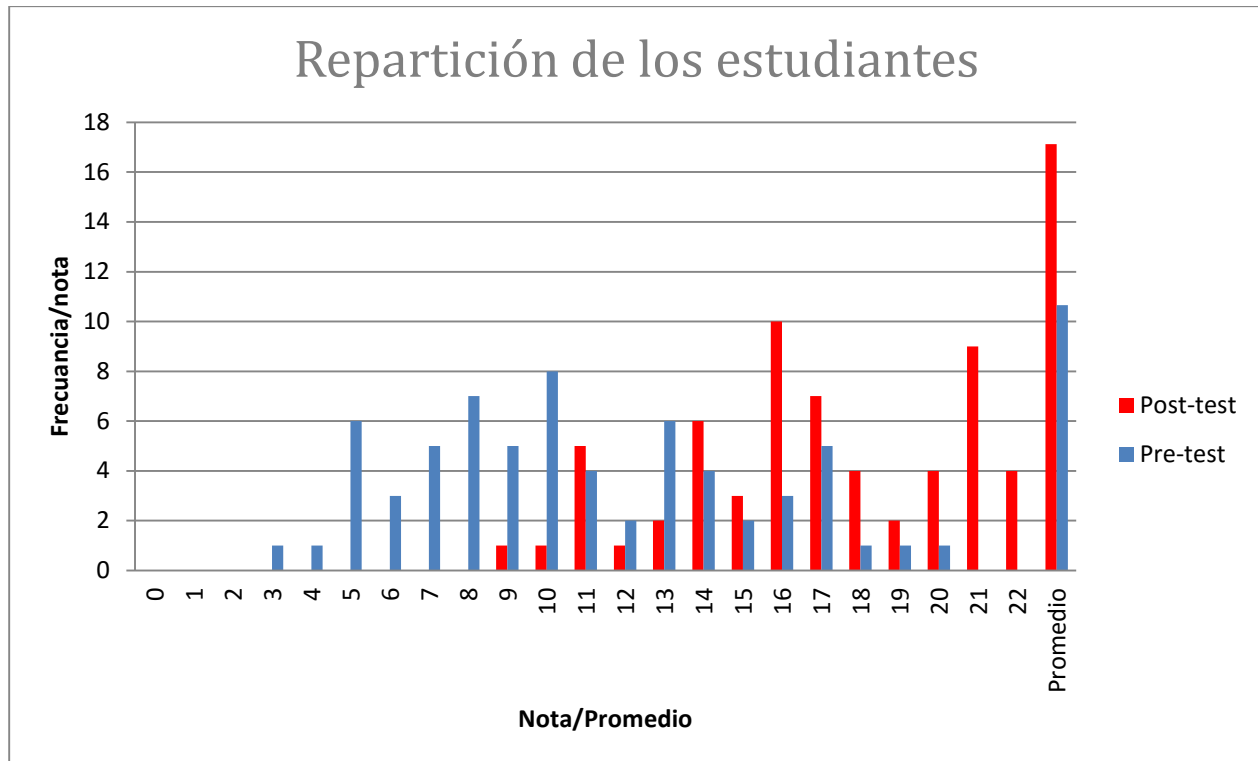


Ilustración 1: Repartición de los resultados entre el pre y el post-test.

Si miramos los resultados por pregunta en la ilustración 2, se observe como en el caso de Getty (2009) que la repartición de los estudiantes del curso de fundamentos de circuitos al principio (barras rojas/azules) es representativa de la población general de los estudiantes (población global del estudio de Engelhardt Paula and Beichner (2004)).

Se puede observar en la ilustración 3 que la tasa de buena respuesta a cada de las preguntas aumentó. Hay un promedio de 0.25 puntos de porcentaje de aumento (entre 0.07 y 0.61) entre el pre-test (azul) y el post-test (rojo), lo que se puede considerar como significativo (superior al error estándar). Ningún de los cuatro aspectos particulares de la prueba aumento más que los otros, al contrario se observe un aumento que conserve las diferencias entre cada pregunta (como un perfil de respuesta), lo que se observa también en el estudio de Getty (2009). Las buenas respuestas a la pregunta 20 (26 del ECI), muy representativa del razonamiento común llamado "lineal causal" (Closset, 1984) aumenta de manera significativa, pasando de 28% a 70%, lo que indica que la intervención permite reducir este tipo de razonamiento muy emblemático de una incomprensión de la naturaleza de la corriente eléctrica y de su comportamiento en circuito cerrado.

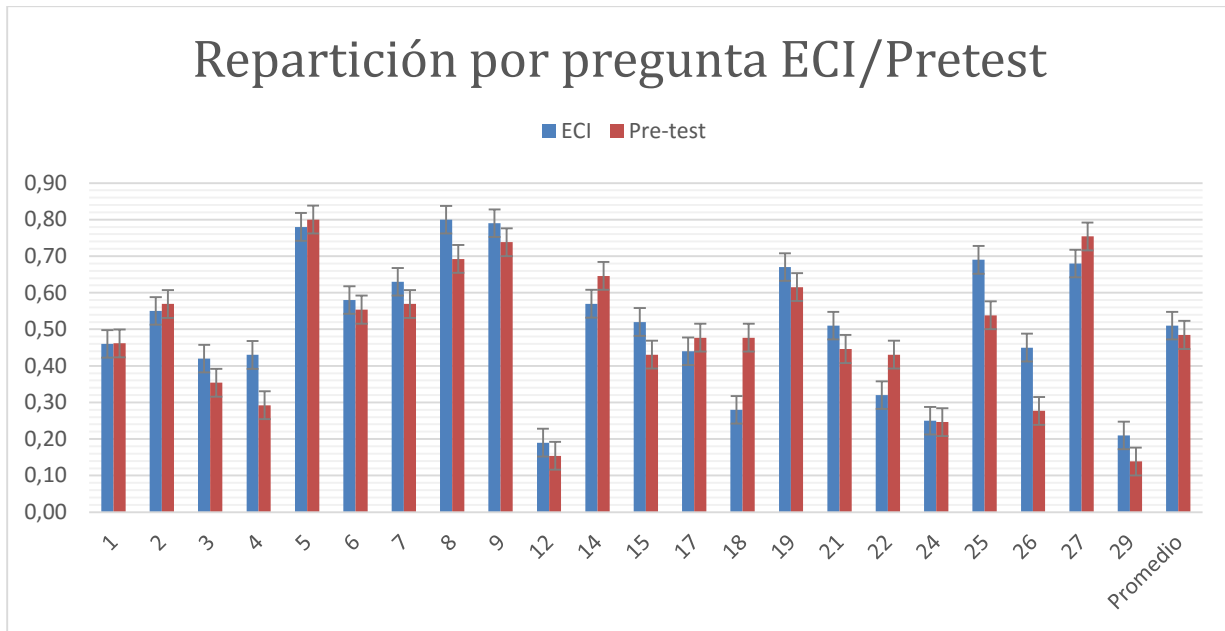


Ilustración 2: Tasa de buenas respuestas por pregunta.

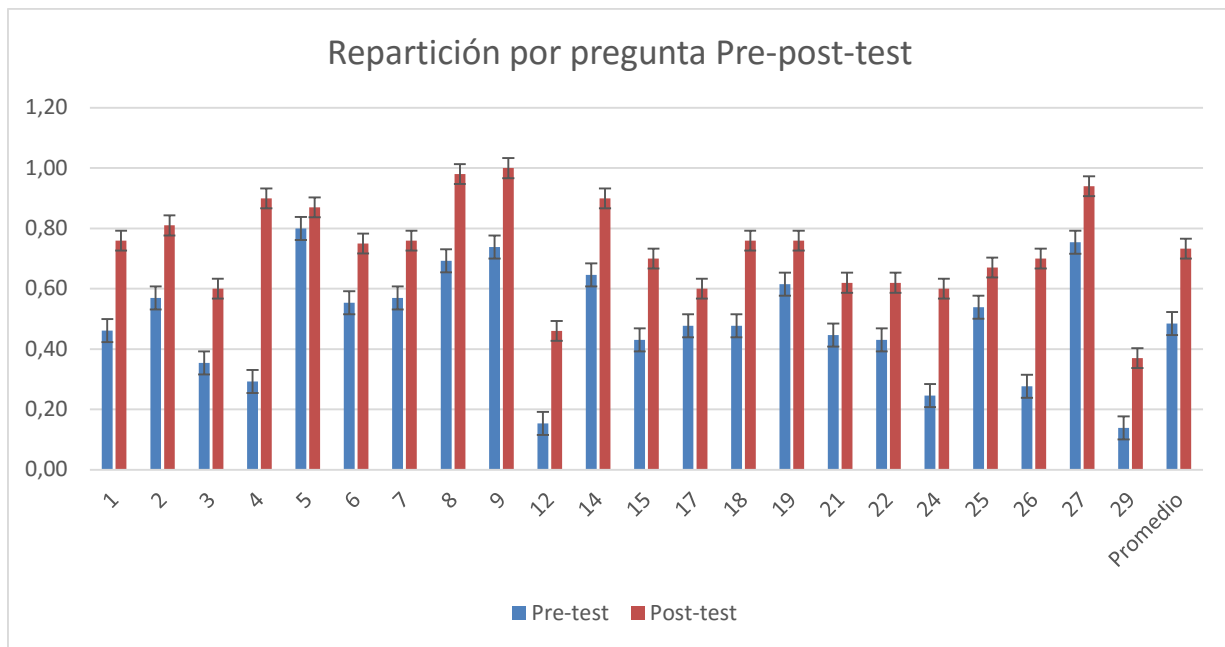


Ilustración 3: Frecuencia asociada a cada test.

6. Conclusiones y perspectivas

Los resultados obtenidos parecen indicar que, no sólo los estudiantes lograron desarrollar habilidades en el manejo de circuitos, tanto en su solución analítica, como en su utilización práctica, sino también comprensión conceptual de aspectos que usualmente presentan un resultado muy limitado.

El formato del curso permite aprovechar con mayor eficacia los momentos presenciales en el aula para trabajar, ya sea temas conceptuales, ya sea habilidades para resolver ejercicios y problemas en el área.

Para la próxima versión del curso se buscará aumentar la exposición a trabajos prácticos vía la utilización de laboratorios remotos.

7. Referencias

- Closset, J. L. (1984). Sequential reasoning in electricity. *Research on Physics Education: Proceedings of the First International Workshop (Editions du Centre National de la Recherche Scientifique)*, 313-319.
- Dylan, W. (2011). *Embedded formative assessment*. Bloomington: Solution Tree Press.
- Engelhardt Paula, & Beichner, R. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.
- Getty, J. C. (2009). *Assessing Inquiry Learning in a Circuits/Electronics Course*. Paper presented at the 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, San Anotinio, texas.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Hattie, J. (2015). *What doesn't work in education: the politics of distraction*
- : Pearson.
- Hattie, J. (2016). Hattie Ranking: 195 Influences And Effect Sizes Related To Student Achievement. Retrieved from <http://visible-learning.org/hattie-ranking-influences-effect-sizes-learning-achievement/>
- Hattie, J., & Yates, G. (2014). *Visible learnin for teachers and the science of how we learn*. London: Routledge.
- OECD. (2009). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Retrieved from Paris:
- Pellegrino, J., Di Bello, L., & Brophy, S. (2013). The Science and Design of Assessment *Engineering Education in cambridge handbook of engineering education research*, 571-598.
- Rahman, M., & Ogunfunmi, T. (2010). *A concept inventory for an Electric Circuits course : Rationale and fundamental topics*. Paper presented at the Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Paris.
- Shulman, L. (2004). *Teaching as community property: Putting an end to pedagogical solitude*. : Jossey-Bass.

Sobre los autores

- **Michaël Canu:** Maestría en Control de sistemas y de producción de la Ecole des Mines de Nantes (France), Maestría y Doctorado en didáctica de las disciplinas de la universidad Paris Diderot – Paris 7 (Francia), Doctor en Ingeniería de la Universidad de Los Andes. Investigador postdoctoral. m.canu134@uniandes.edu.co
- **Mauricio Duque:** Ingeniero eléctrico, Msc en ingeniería Universidad de los Andes, DEA y Doctor en Ingeniería de INRP, Grenoble, Francia. Profesor asociado Universidad de los Andes. maduque@uniandes.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)