

La exploración de conocimientos previos de los estudiantes en la enseñanza científico-técnica universitaria mediante recursos TIC interactivos

Students' misconceptions gathering in science education by means of interactive ICT resources

José Luis López-Quintero, Marta Varo-Martínez, y Alfonso Pontes-Pedrajas

Universidad de Córdoba, España

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de una innovación educativa en la unidad de termodinámica correspondiente a una asignatura introductoria a la física perteneciente al primer curso de diversas titulaciones de ingeniería. La misma consiste en la introducción de preguntas conceptuales en las clases teóricas, las cuales son respondidas por los alumnos mediante Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI). El objetivo es medir la eficacia de este recurso electrónico (SRI) como herramienta para la obtención de las concepciones alternativas presentes en los estudiantes antes de iniciar dicha unidad temática, de acuerdo a un enfoque constructivista del aprendizaje. Asimismo, se pretenden recoger las opiniones de los alumnos con respecto a esta metodología. Se presentan los resultados obtenidos durante cuatro años consecutivos, donde han participado un total de 179 estudiantes. A través de los datos se concluye que los Sistemas de Respuesta Inmediata constituyen una herramienta útil para obtener las ideas previas de los alumnos dentro de la unidad tratada. Por otra parte, se obtienen opiniones positivas por parte de los estudiantes, siendo la más valorada la ventaja que proporciona este recurso TIC para autoevaluar su aprendizaje en tiempo real mediante la retroalimentación instantánea que el mismo proporciona.

Palabras clave: Innovación didáctica, contexto universitario, ciencia, física, aprendizaje colaborativo, debate, TIC.

Suggested citation:

López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M., y Pontes-Pedrajas, A. (2018). La exploración de conocimientos previos de los estudiantes en la enseñanza científico-técnica universitaria mediante recursos TIC interactivos. In López-García, C., & Manso, J. (Eds.), *Transforming education for a changing world*. (pp. 96-105). Eindhoven, NL: Adaya Press.

Abstract

This work shows results from the application of an educational innovation in a thermodynamic introductory course belonging to an engineer degree. The methodology incorporate concept tests in regular lectures, these queries were replied by the students using Classroom Response System (CRS). The aim of this paper is to measure the efficiency of CRS as misconception gathering tool from a constructivist educational approach. In addition, students' opinions on the methodology had been collected. Data had been measured during four years from a total of 179 students. Results show that CRS is a useful tool to gather common misconceptions on thermodynamics. On the other hand, students give strong positive opinions on the methodology, where the highly rated advantage is the instant feedback that the ICT technology brings.

Keywords: Educational innovation, higher education, physics, peer discussion, ICT.

Introducción

Este estudio forma parte de un proyecto de innovación e investigación educativa orientado a mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física en titulaciones de Ingeniería. Para tal fin se ha utilizado una metodología interactiva basada en recursos TIC que favorece la participación y la reflexión del alumnado en el aula.

En el contexto de la enseñanza de las ciencias son numerosos los estudios que manifiestan como las representaciones acerca del comportamiento de nuestro entorno están presentes en los estudiantes antes de iniciar su escolarización (Anderson, Abell, y Lederman, 2007). Dichos trabajos también ponen de manifiesto como estos esquemas basados vivencias sensoriales no siempre se corresponden con las explicaciones científicas que recibirán en las aulas. Estas discrepancias se derivan de una observación basada únicamente en el entorno limitado por su experiencia vital, cerrándose sí la comprensión a casos más generales contemplados por las leyes científicas que los explican. Más allá de este aprendizaje espontáneo, también se observa como estas ideas previas se presentan simultáneamente junto con las nuevas adquisiciones de conceptos científicos, a pesar de que, en muchas ocasiones, son contradictorias entre sí (Ohlsson, 2009; Shtulman y Valcarcel, 2012). Igualmente, se observa como parte de estas concepciones se siguen manteniendo cuando los alumnos están cursando, o incluso han finalizado, sus estudios superiores (Crossgrove y Curran, 2008).

Por este motivo, y desde el marco constructivista de los procesos de aprendizaje, el conocimiento por parte de los docentes de estas concepciones alternativas de los alumnos aporta grandes beneficios a la enseñanza de las ciencias (Novak, 1993). Entre las implicaciones educativas de este enfoque se encuentran: a) aplicar estrategias que favorezcan la evolución de las ideas previas de los alumnos para poder construir esquemas

cognitivos coherentes con el conocimiento científico, b) contextualizar los contenidos de la enseñanza para poder explicar científicamente los procesos físicos cotidianos que perciben los estudiantes en su entorno natural y social, c) utilizar todo tipo de recursos educativos interactivos para reflexionar y debatir en grupo sobre los conceptos que se están aprendiendo en cada momento (Pontes, 2005).

Metodologías interactivas

Desde esta perspectiva educativa, y con motivo de fomentar los debates y la reflexión entre los alumnos, se han ido introduciendo en las últimas décadas numerosas innovaciones, basadas en el uso educativo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), como *peer learning*, *just-in-time teaching*, *blended learning*, etc. Hake (1998) denomina metodologías interactivas (*interactive engagement*) al conjunto de métodos educativos que favorecen la comunicación en el aula y el aprendizaje significativo mediante la aplicación de estrategias innovadoras y recursos que propician una retroalimentación inmediata a través del debate entre estudiantes y profesores. Tales metodologías se contraponen a la enseñanza tradicional, la cual se basa exclusivamente en clases teóricas de comunicación unidireccional, recetas de laboratorio y resolución algorítmica de ejercicios y problemas.

En este contexto, los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI) han ido adquiriendo relevancia como un recurso electrónico que favorece la implantación de metodologías interactivas, centradas en el razonamiento y la evolución de las ideas conceptual de los alumnos. Estos sistemas son similares a pequeños mandos a distancia que permiten a cada estudiante responder de manera simultánea y en tiempo real a las cuestiones planteadas por el profesor. Estas respuestas son recogidas por un equipo informático, lo cual facilita un análisis posterior de las mismas. Más allá del razonamiento individual, su utilización en las aulas aumenta la reflexión individual, los debates alumno-alumno y profesor-alumno, favoreciendo así el aprendizaje colaborativo (Boscardin y Penuel, 2012). Otros autores indican que los alumnos valoran positivamente el uso de estos dispositivos digitales en las aulas, debido a que favorecen la atención y la motivación, permiten la auto-evaluación del aprendizaje y amenizan las clases (Caldwell, 2007; Prather y Brisenden, 2009).

Efectos en el aprendizaje

Diversos estudios muestran que las metodologías interactivas pueden reportar beneficios hacia el aprendizaje de las ciencias. Entre éstas, se encuentran investigaciones que recogen como los estudiantes obtienen mejores resultados en los exámenes cuando se hace uso de los SRI en las clases teóricas (Poulis, Massen, Robens, y Gilbert, 1998), o como se mejora el rendimiento de los alumnos en diferentes tipos de exámenes (Yours-tone, Krayer, y Albaum, 2008). Por otra parte, Bardar, Prather, Brecher y Slater (2007) sugieren que estas metodologías son capaces de incrementar el aprendizaje significativo de los conceptos físicos. Igualmente, en un estudio con participantes de biología Knight y

Wood (2005) concluyeron que aparentemente los alumnos que han recibido clases interactivas desarrollan mejores habilidades para resolver problemas conceptuales frente a aquellos que han seguido una metodología tradicional. DeBourgh (2008) argumenta que los sistemas SRI aumentan participación y promueven el desarrollo de capacidades para realizar razonamientos avanzados. Asimismo, Beatty (2005) sostiene que una resolución individual de las preguntas conceptuales estimula los procesos cognitivos necesarios para un aprendizaje significativo.

Enseñanza universitaria de la termodinámica

Alonso y Finn (1995) definen la termodinámica como la rama de la física que estudia las transferencias de energía entre partículas de un sistema compuesto por un elevado número de unidades (moléculas, átomos, etc.) y las partículas de su entorno. Estos autores consideran que tales intercambios se pueden clasificar fenomenológicamente en tres categorías: trabajo, calor y radiación. Estas tres magnitudes, que representan intercambios energéticos entre sistemas, aparecen únicamente durante procesos transitorios de transferencia de energía, y por tanto solo describen los cambios en los mismos. En contraposición a dichos procesos existen los llamados estados de equilibrio, que permiten describir la naturaleza de los sistemas físicos, a partir de propiedades fundamentales como la energía interna o la temperatura.

Objetivos

Los obstáculos descritos en el aprendizaje significativo de la termodinámica han motivado la necesidad de llevar a cabo un proyecto de innovación educativa que permita mejorar el proceso de enseñanza de esta unidad, mediante la incorporación de metodologías interactivas. Los objetivos específicos que se pretenden alcanzar en este trabajo –los cuales forman parte de una investigación consistente en varias fases– son los siguientes:

Objetivo 1: Incorporar a las aulas rutinas que permitan a los estudiantes confrontar sus concepciones alternativas en esta materia con las explicaciones de las mismas basadas en una formulación científica. Para ello se optó por la incorporación de Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI), debido a que su incursión no reduce significativamente el tiempo disponible en cada sesión, así como ser capaces de proporcionar a todos los alumnos la posibilidad de responder a las preguntas conceptuales preparadas para tal fin (López-Quintero, Varo-Martínez y Pontes-Pedrajas, 2017).

Objetivo 2: Conocer las opiniones de los estudiantes para incorporar futuras mejoras en la metodología. Para tal fin se ha realizado un cuestionario dividido en tres categorías distintas: (A) uso de la herramienta, (B) actitudes del alumnado hacia la misma y (C) efectos en el aprendizaje.

Por otra parte, en una segunda fase de esta de investigación se pretenden analizar los resultados relativos al proceso de adquisición de conocimientos de los participantes, con la finalidad de obtener información de aquellos conceptos termodinámicos que presentan mayores dificultades en el aprendizaje entre los alumnos.

Metodología

Contexto educativo y participantes

La innovación educativa se ha realizado en la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería, correspondiente al primer curso del Grado de Ingeniería con especialidades en Ingeniería Eléctrica (IE) e Ingeniería Mecánica (IM), ambas se imparten en la Escuela Politécnica Superior de una universidad española. Los datos analizados en este estudio se han recogido en varios cursos sucesivos y han participado un conjunto total de 179 estudiantes, 41 % de la titulación IE y 59 % de IM. Entre los mismos, el 14.5 % eran alumnas y el resto alumnos. La edad media de los participantes es de 19.6 años.

Innovación educativa

La metodología seguida durante el transcurso de la experiencia, centrada en el bloque de termodinámica de la citada asignatura, ha consistido en explicaciones teóricas apoyadas por diapositivas digitales. Durante el desarrollo de cada una de estas sesiones, de una hora de duración, el profesorado ha introducido en torno a diez preguntas conceptuales que han sido respondidas por los alumnos mediante Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI).

Con respecto a los recursos digitales utilizados en esta metodología, las diapositivas digitales se pueden clasificar en tres categorías: a) introducción de contenidos teóricos, b) problemas para resolver en clase y c) preguntas de reflexión conceptual. Para este último fin se han usado los Sistemas de Respuesta Inmediata proporcionados por el fabricante Turning Technologies. El tamaño de cada unidad es aproximadamente de 8x5 centímetros y poseen un peso de 28 gramos, de manera que tanto su manejo por parte de los estudiantes, como el transporte de los mismos por parte del profesor no suponen un problema de espacio o peso. La configuración usada en el aula se muestra en la figura 1.

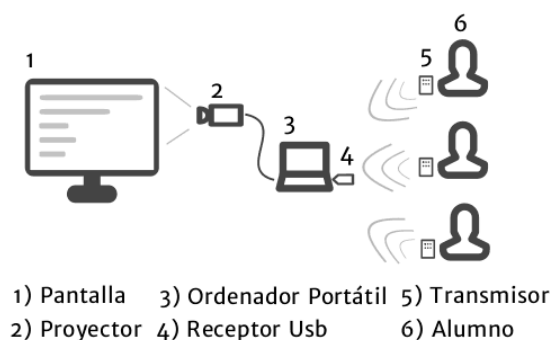


Figura 1. Configuración del equipo informático en el aula

Al inicio de cada clase el profesor entrega a los alumnos una hoja de asistencia y un maletín que contiene los mandos a distancia. Posteriormente los estudiantes van repartiéndose los mismos de manera que cada uno de ellos dispone de un único dispositivo electrónico. Cada uno de estos emisores está identificado de manera única en su parte trasera, y en la hoja de firmas los estudiantes anotan dicho número junto a su nombre. De este modo es posible conocer las respuestas individuales de los estudiantes a lo largo de cada una de las sesiones.

Proceso de recogida de datos

Al comenzar la experiencia, y antes de explicar la materia, se ha realizado un pre-test mediante SRI, integrado por algunas de las cuestiones que después se han abordado en clase, con objeto de evaluar el conocimiento inicial del alumnado sobre termodinámica y poder así realizar una evaluación comparativa al finalizar la unidad.

La recogida de datos de este estudio se ha realizado en dos fases. En primer lugar, durante los cursos académicos 2013/2014 y 2014/2015, se ha llevado a cabo un estudio piloto destinado a valorar aquellas preguntas que presentan mayores dificultades de aprendizaje, o un número mayor de concepciones alternativas. A través de una selección estadística se ha construido un segundo cuestionario conteniendo doce de las preguntas iniciales. Este último cuestionario ha sido respondido por los alumnos en la segunda fase, realizada durante los cursos 2015/2016 y 2016/2017. Del total de 179 participantes 76, alumnos respondieron en la primera fase y 103 en la segunda.

Adicionalmente, se han recogido las opiniones de los alumnos acerca de la metodología utilizada. Para tal fin se ha elaborado un cuestionario de 19 preguntas de escala Likert de cinco valores, siendo el intermedio una valoración neutra. Asimismo, se ha añadido una última cuestión abierta. Este cuestionario ha sido alojado en la plataforma on-line Google-Docs, y ha sido respondido al finalizar cada curso por un total de 131 alumnos, correspondientes a los tres primeros años de implementación de la metodología.

Resultados

A continuación se muestran los resultados de este estudio. En primer lugar se expone un breve análisis de las concepciones alternativas de los alumnos, realizado a través de datos recogidos mediante SRI durante las clases. Posteriormente se comentan los resultados correspondientes al análisis de las opiniones de los 131 participantes que han respondido la encuesta sobre el uso de SRI en esta experiencia educativa.

Con respecto al objetivo primero, se observa que los resultados obtenidos convergen con los descritos por otros autores que también han tratado concepciones alternativas en termodinámica (Meltzer, 2004; Alwan, 2011). Entre éstas, como existe la idea de que los cuerpos pueden albergar determinada cantidad de calor dentro de ellos. Así se obtiene que un 68% de los participantes piensa que una taza de chocolate contiene más cantidad de calor que una taza con helado de chocolate. También se encuentra un 54% de alumnos que afirman que, dentro de una habitación en equilibrio termodinámico, un material hecho de plástico estaría a mayor temperatura que un suelo fabricado de cemento, intercambiando indistintamente el concepto de temperatura con la sensación táctil que obtenemos al tocar dichos cuerpos.

Opiniones de los alumnos

Continuando con un estudio anterior (López-Quintero, Varo-Martínez, Laguna-Luna y Pontes-Pedrajas, 2016), se ha querido obtener la opinión de los alumnos acerca de la innovación educativa realizada en las aulas. Para el análisis de las cuestiones los distintos

valores de la escala Likert se han agrupado en tres niveles: (I): Contiene las respuestas de tipo “Muy en desacuerdo” y “En desacuerdo”, (II) contiene la contestación intermedia “Ni de acuerdo ni en desacuerdo” y (III) Contiene las respuestas correspondientes a “De acuerdo” y “Muy de acuerdo”.

Con respecto a las opiniones sobre la herramienta se observa que no hay preferencia significativa por el uso de los SRI asociados a una lista de clase o su uso anónimo, encontrando un 22.8 % de alumnos que prefieren contestar a las preguntas sin un registro individual y otros 42.1 % de ellos que prefieren que el profesor conozca sus respuestas, por otra parte un 35.0% que prefiere no posicionarse. Asimismo, un 85.8 % de estudiantes ha considerado que los mandos interactivos no presentan ninguna dificultad de uso, aunque un 6.0% de los mismos ha descrito en la cuestión abierta que en ocasiones las contestaciones no llegan al receptor.

Acerca de las opiniones de los estudiantes sobre sus actitudes hacia la metodología se encuentra como un 85.7% de los mismos considera que el uso de mandos interactivos aumenta su participación en clase. Por otra parte un 80.7% de ellos considera que la herramienta digital aumenta su atención en las clases teóricas. Con una frecuencia menor, un 64.9% manifiesta que la incorporación de la metodología interactiva supone una ayuda a la hora de enfrentarse a los exámenes teóricos.

En relación al aprendizaje un 63.1% de los alumnos consideran que, de alguna manera, la metodología interactiva empleada contribuye a mejorar la comprensión de los conceptos teóricos. Adicionalmente, ninguno de los estudiantes ha manifestado que esta metodología haya supuesto algún tipo de dificultad durante el proceso educativo. Siendo lo más valorado por ellos la capacidad que proporciona para monitorizar su aprendizaje durante las explicaciones teóricas, respaldado esto último por un 96.4% de los participantes. Igualmente un 85.9% de los mismos piensa que la implementación del recurso TIC no supone ninguna dificultad hacia el aprendizaje. En la tabla 1 se muestran un sumario de las respuestas a ocho preguntas pertenecientes al cuestionario.

Tabla 1. Respuestas de los alumnos acerca de la metodología interactiva (N=131)

Cat.	Cuestión	I (%)	II (%)	III (%)
A	Prefiero que el profesor conozca mis respuestas	22.8	35.1	42.1
	Me ha costado aprender el funcionamiento de los mandos interactivos	85.9	8.7	5.2
B	Los mandos interactivos aumentan mi participación en clase	1.9	12.2	85.7
	Los mandos interactivos aumentan mi atención en clase	3.5	15.7	80.7
	Los mandos interactivos me ayudan a enfrentarme mejor a los exámenes teóricos	7.0	28.0	64.9
C	Considero que la herramienta a contribuido un mejor conocimiento de los conceptos físicos	7.2	29.8	63.1
	El feedback instantáneo me facilita si estoy entendiendo los conceptos durante las clases	-	3.5	96.4
	La herramienta empeora mi forma de aprovechar las clases para aprender	85.9	12.2	1.7

Categorías: (A) Herramienta, (B) Actitudes y (C) Aprendizaje

Valores Likert: (I) Muy en desacuerdo y en desacuerdo, (II) Ni de acuerdo ni en desacuerdo y (III) De acuerdo y muy de acuerdo

Conclusiones

En este trabajo se ha descrito el desarrollo de una experiencia educativa basada en utilizar preguntas conceptuales de opción múltiple y Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI) para detectar dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas del alumnado en la unidad de termodinámica correspondiente al primer curso de introducción a la física perteneciente a licenciaturas de ingeniería. Los datos obtenidos, tras esta primera etapa de implementación, permiten afirmar que esta metodología resulta útil para explorar y recoger datos cuantitativos sobre las concepciones de los estudiantes acerca de cuestiones científicas. Otra ventaja de los SRI, apreciada tras este estudio, es la rapidez que ofrecen para obtener datos globales del conjunto de la clase, así como la capacidad de obtener datos individualizados sobre el proceso de aprendizaje de cada alumno.

Tras el análisis sucesivo de los resultados de los cuestionarios se constata que el diseño de los mismos debe ser riguroso, usando para cada cuestión una redacción adecuada que permita obtener una información fiel a las concepciones previas de los alumnos. Asimismo, los enunciados de las preguntas deben ser revisados periódicamente, siendo la herramienta digital (SRI) una ayuda valiosa que proporciona una muestra numerosa tanto de preguntas como de respuestas. Pudiéndose utilizar estos datos para seleccionar, mediante un estudio estadístico, aquellas cuestiones que aportan una información más relevante.

Acercas del segundo objetivo, los datos obtenidos se muestran coherentes con otros estudios similares que concluyen que en promedio los alumnos valoran positivamente estas metodologías (Prather y Brissenden, 2009; Nájera, Villalba, y Arribas, 2010). Encontrándose, en consonancia con estos autores, resultados favorables superiores al 70% cuando son preguntados acerca de aspectos como: actitudes hacia la asignatura o incremento de la participación y la atención. Por otra parte, se encuentran resultados igualmente positivos pero con opiniones más divididas cuando se pregunta acerca de su relación con el aprendizaje. Asimismo, tras sucesivos años se sigue observando una opinión de los alumnos dividida entre un registro anónimo o nominativo de las respuestas. Haciendo referencia a sus ventajas, la más valorada es la capacidad que la herramienta proporciona para autoevaluar el aprendizaje durante el transcurso de las clases teóricas.

No obstante, estas conclusiones no se consideran generalizables debido a que se derivan de un estudio de carácter exploratorio y se trata de una metodología educativa que se encuentra en sus primeros años de desarrollo. Por ello se considera necesario seguir investigando y mejorándola en estudios posteriores, tratando de recoger nuevos datos que permitan para mejorar el diseño de los cuestionarios desarrollados, así como de ampliar el uso de esta metodología interactiva en otras ramas de la física donde también se aprecian dificultades de aprendizaje.

Referencias

- Alonso, M., y Finn, E.J. (1995). An integrated approach to thermodynamics in the introductory physics course. *The Physics Teacher*, 33(5), 296–310. <http://dx.doi.org/10.1119/1.2344227>
- Alwan, A.A. (2011). Misconception of heat and temperature Among physics students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 12, 600–614. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.02.074>
- Anderson, C.W., Abell, S., y Lederman, N. (2007). Perspective in science learning. *Handbook of research on science education*, 3–56.
- Bardar, E.M., Prather, E.E., Brecher, K., y Slater, T.F. (2007). Development and validation of the light and spectroscopy concept inventory. *Astronomy Education Review*, 5(2), 103–113.
- Beatty, I.D. (2005). *Transforming student learning with classroom communication systems*. arXiv preprint physics/0508129.
- Boscardin, C., y Penuel, W. (2012). Exploring benefits of audience-response systems on learning: a review of the literature. *Academic psychiatry*, 36(5), 401–407. 10.1176/appi.ap.10080110
- Caldwell, J.E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. *CBE-Life sciences education*, 6(1), 9–20. <https://doi.org/10.1187/cbe.06-12-0205>
- Crossgrove, K., y Curran, K.L. (2008). Using clickers in nonmajors-and majors-level biology courses: student opinion, learning, and long-term retention of course material. *CBE-Life sciences education*, 7(1), 146–154. <https://doi.org/10.1187/cbe.07-08-0060>
- DeBourgh, G.A. (2008). Use of classroom “clicker” to promote acquisition of advanced reasoning skills. *Nurse Education in Practice*, 8(2), 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2007.02.002>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Knight, J.K., y Wood, W.B. (2005). Teaching more by lecturing less. *Cell biology education*, 4(4), 298–310. <https://doi.org/10.1187/05-06-0082>
- López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M., Laguna-Luna Ana. M., y Pontes-Pedrajas, A. (2016). Opinions on “Classroom Response System” by first-year engineering students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 228, 183-189.
- López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M., y Pontes-Pedrajas, A. (2017). Uso de Sistemas de Respuesta Inmediata para mejorar el aprendizaje de conceptos de termodinámica en la universidad. *Enseñanza de las ciencias, (Num. Extra)*, 1697-1702.
- Meltzer, D.E. (2004). Investigation of students’ reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72(11), 1432–1446. <https://doi.org/10.1119/1.1789161>
- Nájera, A., Villalba, J. M., y Arribas, E. (2010). Student peer evaluation using a remote response system. *Medical Education*, 44(11), 1146. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03837.x>
- Novak, J.D. (1993). Human constructivism: A unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. *International Journal of Personal Construct Psychology*, 6(2), 167–193. <https://doi.org/10.1080/08936039308404338>

- Ohlsson, S. (2009). Resubsumption: A possible mechanism for conceptual change and belief revision. *Educational Psychologist*, 44(1), 20–40. <https://doi.org/10.1080/00461520802616267>
- Pontes, A. (2005). Aplicaciones de las nuevas tecnologías de la información en la educación científica. 2a Parte: Aspectos metodológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 302–302.
- Poulis, J., Massen, C., Robens, E., y Gilbert, M. (1998). Physics lecturing with audience paced feedback. *American Journal of Physics*, 66(5), 439–441. <https://doi.org/10.1119/1.18883>
- Prather, E.E., y Brissenden, G. (2009). Clickers as Data Gathering Tools and Students' Attitudes, Motivations, and Beliefs on Their Use in this Application. *Astronomy Education Review*, 8(1).
- Yourstone, S.A., Krave, H.S., y Albaum, G. (2008). Classroom questioning with immediate electronic response: Do clickers improve learning? Decision Sciences. *Journal of Innovative Education*, 6(1), 75–88. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4609.2007.00166.xe>

José Luis López-Quintero. Colaborador honorario, Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba; Didáctica de las Ciencias Experimentales; Dirección: Campus Universitario de Rabanales; Edificio C2, 14014 Córdoba.

Marta Varo-Martínez. Profesora Titular de Universidad. Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba. Imparte docencia en estudios de Ingeniería, en Máster de Profesorado de Secundaria y Máster de Energías Renovables Distribuidas. Sus principales líneas de investigación son Recursos TIC aplicados a la docencia de física universitaria y la formación del profesorado y simulación de fenómenos físicos aplicados a la educación, la ingeniería y las energías renovables. Dirección: Campus Universitario de Rabanales; Edificio C2, 14014 Córdoba. Tfno: +34 957 218602.

Alfonso Pontes-Pedrajas. Profesor Titular de Universidad. Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba. Imparte docencia en estudios de Ingeniería, en Máster de Profesorado de Secundaria y Máster de Educación Ambiental. Ha investigado y publicado numerosos trabajos en Didáctica de la Ciencia y la Tecnología, Representación del conocimiento, Recursos TIC en educación y Formación del profesorado de secundaria. Dirección: Campus Universitario de Rabanales; Edificio C2, 14014 Córdoba. Tfno: +34 957 218378.
