

Instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo: una experiencia en la enseñanza de la Física en educación superior

Mónica Hernández Campos¹ & Natalia Murillo-Quirós²

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Centro de Desarrollo Académico-Escuela de Matemática, 159- 7050, Cartago, Costa Rica; mohernandez@itcr.ac.cr
2. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Escuela de Física, 159-7050, Cartago, Costa Rica; mohernandez@itcr.ac.cr

Recibido 30-VIII-2018 • Corregido 12-XI-2018 • Aceptado 15-XII-2018

Abstract: "Peer instruction and just in time teaching: an experience in the teaching of Physics in higher education". **Introduction:** historically there have been difficulties in learning basic physics concepts as well as high levels of reprobation in these introductory courses at university. The Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) is not the exception and therefore the initiative to innovate in education arises. **Objective:** to describe an experience in the implementation of active methodologies in teaching in Physics (Peer Instruction and Just in Time Teaching) as well as its scope in the academic performance of students who study General Physics; it is based on the assumption that a transformation in the pedagogical approach of the lessons can affect student performance. **Methods:** we analyzed the results of those who were taught through these active methodologies compared to those who were exposed to lectures. **Results:** we found significant improvements ($F_{(1,59)}=9,637$, $p=0,002$) in the exam performance of students exposed to active methodologies (Mean grade=64,3), in comparison to those who received lectures (Mean grade=54,5). **Conclusion:** It is necessary that both teachers and institutions stop assuming that all teachers possess the cognitive skills that facilitate a gain in student learning without adequate training.

Key words: educational innovation, active methodologies, peer instruction, just-in-time teaching, physics teaching.

Resumen: Introducción: históricamente han existido dificultades para el aprendizaje de conceptos básicos de Física así como altos niveles de reprobación en estos cursos introductorios a nivel universitario. El Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) no es la excepción y por ello surge la iniciativa de innovar en la enseñanza. **Objetivo:** describir una experiencia en la implementación de metodologías activas en enseñanza en Física (instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo) así como el alcance de estas en el rendimiento académico de estudiantes que cursan Física General. Se parte del supuesto de que una transformación en el abordaje pedagógico de las lecciones puede incidir en el rendimiento estudiantil. **Métodos:** analizamos los resultados de quienes recibieron lecciones a través de estas metodologías activas en comparación a aquellos que fueron expuestos a clases magistrales. **Resultados:** obtuvimos mejoras significativas ($F_{(1,59)}=9,637$, $p=0,002$) en las calificaciones de los exámenes de los estudiantes expuestos a metodologías activas en el curso (Media=64,3) en comparación a aquellos que recibieron clases magistrales (Media=54,5). **Conclusión:** es necesario que tanto docentes como instituciones dejen de asumir que todos los profesores poseen las habilidades cognitivas que facilitan una ganancia en el aprendizaje estudiantil sin una capacitación adecuada.

Palabras clave: innovación educativa, metodologías activas, instrucción entre pares, enseñanza justo a tiempo, enseñanza de la física.

En los últimos años, la mejora en la calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje ha sido un punto de agenda fundamental a nivel mundial. Se reconoce que el aprendizaje recibe una influencia importante de diversos factores tales como las habilidades del estudiantado, sus expectativas y motivación, los recursos familiares, las habilidades del grupo de pares, el ambiente educativo, etc. Sin embargo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) señala entre los aspectos de mayor incidencia aquellas características atribuibles a factores individuales: actitud y habilidades del estudiantado, entorno familiar y comunitario; así como

a la calidad de la enseñanza y las habilidades docentes (OECD, 2005).

Pese a esto, existe evidencia limitada que permita establecer una relación entre la práctica docente y los resultados en el aprendizaje estudiantil (Olson, Desimone, Floch, & Birman, 2002); de hecho, son pocos los estudios empíricos que permiten examinar la eficacia de prácticas educativas en el aula (Avalos, 2011; Chan, Cheung, Brown, & Luk, 2015; Conford, 2002). Algunos autores afirman que son limitados los recursos que se invierten en investigación educativa para identificar cuáles

métodos y qué aspectos específicos de estos pueden mejorar tanto la práctica docente como el desempeño estudiantil (Creemers & Kyriakides, 2006) en particular en las áreas de ciencia y tecnología (Hong, Lin, Chen, & Chen, 2018). Parece paradójico si se toman en consideración las recomendaciones de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) las cuales establecen como un aspecto prioritario la mejora en la formación educativa.

El marco de Investigación de la eficacia educativa (EER) ha enmarcado la investigación educativa realizada en los últimos 35 años a nivel mundial. Este marco de investigación se ha robustecido a partir de un rápido crecimiento en investigaciones tanto cuantitativas como cualitativas que pretenden identificar aquellos factores del sistema educativo en general que afectan el desempeño estudiantil. Además, hace ahínco en la importancia de tomar decisiones basadas en evidencia para mejorar el aprendizaje estudiantil (Reynolds et al., 2014).

En este marco han surgido distintos modelos teóricos. Uno de estos es la Aproximación integrada al desempeño profesional del docente (DIA) el cual propone una asociación entre el rol instruccional del docente y los resultados en el desempeño estudiantil (Antoniou, 2013; Antoniou & Kyriakides, 2011; Brekelmans, Sleegers, & Fraser, 2000). Para la propuesta de este modelo, Kyriakides, Creemers y Antoniu (2009) llevaron a cabo un estudio longitudinal, a partir del cual propusieron cinco fases que explican la relación entre la práctica docente y el desempeño estudiantil. Las primeras tres fases están directamente relacionadas con un abordaje activo por parte del docente el cual requiere de rutinas educativas como manejo del tiempo y planeamiento. En las fases posteriores, se requieren de habilidades más especializadas como por ejemplo la elaboración de preguntas de forma sistemática con una realimentación apropiada. Estas prácticas provocan de manera gradual un mayor involucramiento tanto de estudiantes como del equipo docente en el proceso de aprendizaje. Estas últimas fases son más demandantes pues requieren que el profesorado maneje una aproximación de enseñanza a través del modelado instruccional y la mediación pedagógica.

Pese a que el desempeño estudiantil es un tema central en las instituciones de educación superior, y aún cuando existen estudios previos que parecen predecir mejores resultados en el aprendizaje; hoy por hoy existen asignaturas que despiertan preocupaciones en el estudiantado, al ser concebidas como asignaturas difíciles de aprobar. Uno de estos casos son los cursos de Física a nivel universitario. Se han documentado altos niveles

de reprobación y abandono de los cursos de Física en universidades inglesas e italianas (Ferreyra & González, 2000). Esta misma realidad se ha podido encontrar también en países como España, Chile, Argentina y América Latina en general (Sánchez, Moreira, & Caballero, 2011).

Diversos autores señalan que detrás de estos altos niveles de reprobación, lo que existe es una gran dificultad para comprender los conceptos de Física, lo que, a su vez, ha sido una problemática histórica en la enseñanza de esta asignatura (Ferreyra & González, 2000; Goldberg & Bendall, 1995; Wainmaier & Plastino, 1995).

Pareciera ser que el elemento en común en todos estos casos es el uso de la clase magistral como estrategia pedagógica predominante, así como la resolución de ejercicios en la pizarra. De esta forma, el estudiantado aprende un camino a seguir para resolver un ejercicio en específico, pero al cambiar algún detalle del ejercicio, tiene problemas para llegar a una resolución correcta del mismo (Sánchez et al., 2011). Al igual que en otras disciplinas o áreas del saber, en Física la memorización de leyes o conceptos no es suficiente para una verdadera comprensión de la materia.

Para hacer frente a las dificultades en el aprendizaje de ciencias básicas han emergido múltiples iniciativas pedagógicas. Datos de diez años de experiencia en la implementación de metodologías activas (tal como la Instrucción entre Pares) en cursos de Física revelan un incremento en el razonamiento conceptual y en la resolución cuantitativa de problemas (Crouch & Mazur, 2001; Fraser et al., 2014). Estas prácticas también han sido enriquecidas a través de estrategias de aprendizaje colaborativo y aula invertida (Crouch, Watkins, Fagen, & Mazur, 2007). Estudios hechos a gran escala muestran de forma contundente que los alumnos que aprenden trabajando a través de estas metodologías presentan mayor comprensión de la materia que los alumnos que aprenden bajo el esquema de la clase magistral (Hake, 1998; Wieman, 2014). Antoniou (2013) explica que cuando una persona se ve expuesta a la resolución de problemas complejos que requieren de respuestas reflexivas; tanto docentes como estudiantes desarrollan un comportamiento más competente y eficiente ante la información.

Por otra parte, las ciencias cognitivas han hecho aportes significativos a la comprensión del proceso de aprendizaje. Existen principios fundamentales derivados de amplia y robusta investigación en este campo, que, sin lugar a duda, pueden aportar mucho al planeamiento docente y a la toma de decisiones a nivel curricular basadas en evidencia (Carraway, 2014). Estos principios resaltan que las capacidades cognitivas se desarrollan a lo largo del tiempo; es decir, son un proceso y que el aprendizaje

no ocurre aislado de las emociones; por el contrario, las emociones son parte de la experiencia humana y por tanto del proceso educativo. Así mismo, destacan que al ser la memoria limitada, es más apropiado usar como recurso la elaboración por encima de la memorización.

Las estrategias instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo implementan estos hallazgos para el desarrollo del proceso educativo. Estas conciben al estudiante como centro del proceso enseñanza aprendizaje (March, 2006; Marrs & Novak, 2004); de ahí que una de sus características principales sea hacer partícipe al alumnado en todo el proceso de enseñanza.

La Instrucción entre Pares y la Enseñanza Justo a Tiempo son metodologías de aprendizaje activo, las cuales, proponen utilizar una parte significativa de la clase y trabajar en actividades que requieren que los conceptos se discutan, procesen y apliquen. Otros ejemplos de metodologías activas son: la resolución de problemas, la realización de proyectos, el aprendizaje experiencial, los laboratorios, el juego de roles, los estudios de caso; entre otros (Carr, Palmer, & Hagel, 2015). En dichas metodologías, el profesor toma un papel de mediador: diseña las preguntas, problemas y actividades, corrige los conceptos erróneos y reafirma las ideas correctas que exponen sus estudiantes durante la clase.

Dichas estrategias tienen tres características esenciales: 1) están basados en investigación educativa en enseñanza de las ciencias, 2) involucran actividades en clase y laboratorio en las que el estudiantado expresa su pensamiento y 3) han sido probados en repetidas ocasiones y demuestran ofrecer evidencia objetiva del aprendizaje del estudiantado (Meltzer & Thornton, 2012).

Las metodologías activas fomentan que las personas logren crear representaciones significativas y coherentes de su propio proceso de aprendizaje (Reigeluth, Myers, & Lee, 2017). Además, dichos métodos de enseñanza incentivan al estudiantado a conocer la materia de forma previa a la clase por medio de lecturas asignadas y el tiempo de clase se utiliza para la discusión y puesta en práctica de los conceptos. Finalmente, alguna evidencia demuestra que el uso de tecnología en el aula durante la implementación de metodologías de aprendizaje activo parece tener un importante efecto en el éxito de la práctica docente (Desimone, Porter, Garet, Yoon, & Birman, 2002).

A la luz de esta evidencia, y con base en el alto grado de reprobación en cursos de Física, se consideró pertinente plantear como hipótesis que una transformación en el abordaje pedagógico de los cursos de física general podría tener un impacto en el desempeño estudiantil. De esta forma, el objetivo de este estudio fue analizar el

desempeño académico de estudiantes universitarios de Física General I, expuestos a las estrategias instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo en comparación a estudiantes expuestos a la clase magistral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento: el estudio se llevó a cabo a través del análisis del promedio de las calificaciones de exámenes parciales del curso de Física General I en el primer semestre del año 2016 en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. La investigación se realizó a través de una metodología cuantitativa de tipo comparativa, modalidad «ex post facto».

La muestra estuvo conformada por 120 personas quienes fueron divididos en dos grupos. A continuación se describen las características de instrucción de cada uno de estos:

- Grupo 1: Este grupo estuvo conformado por 60 personas quienes recibieron la totalidad del curso a través de las estrategias: instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo. El curso fue impartido por dos profesores distintos en el TEC, quienes manejaban a la perfección dichas estrategias, cada profesor tenía a cargo 30 estudiantes.
- Grupo 2: Los participantes de este grupo fueron seleccionados de forma aleatoria a partir del total de estudiantes que recibieron la asignatura a través de clases magistrales. En total se seleccionaron 60 discentes.

Ambos grupos estuvieron expuestos a 32 clases a lo largo del semestre, distribuidas en dos sesiones de 1h y 40min cada semana. Es importante señalar que no hubo una distribución aleatoria de los participantes al grupo 1 y 2 por las características administrativas de la institución.

Participantes: el curso de física general I se imparte para todas las carreras de ingeniería en la institución, de esta forma los estudiantes participantes en este estudio estaban inscritos en diversas carreras de ingeniería y eran de primer ingreso en su mayoría.

Instrumentos: el instrumento que se utilizó en esta investigación fue el examen escrito. El curso de física I es un curso coordinado en el que todos los profesores que lo imparten cubren la misma materia con un mismo cronograma lo que permite aplicar los mismos exámenes a todos los estudiantes.

La construcción del examen se hace a través del aporte de ítems de los profesores que forman parte de

coordinación. Después de un proceso de selección en el que participan varios profesores se eligen tres ítems de selección única y tres ítems de resolución de problemas. En los ítems de selección única se puntúa únicamente si la respuesta es la correcta, en la resolución de problemas se califica tanto el procedimiento como la respuesta final de los mismos.

El instrumento es validado para asegurarse de que tiene una redacción correcta y puede ser realizado en un tiempo que varía entre las 2h y 2h y 15min, por al menos dos profesores que no participaron en el proceso de redacción del mismo.

En total se aplicaron cuatro exámenes parciales a lo largo del semestre, ninguno de ellos fue acumulativo. Detalles en Apéndice 1.

Análisis: se utilizó el paquete estadístico SPSS 18.0 para el análisis de los datos. Se llevó a cabo un análisis de varianza para identificar la diferencia entre las calificaciones de los grupos. Para esto, se usó la nota promedio de los cuatro exámenes realizados durante el primer semestre de 2016. Cabe destacar que los exámenes aplicados fueron los mismos para todos los cursos de física general. Además, se calculó el tamaño del efecto a través de la "d" de Cohen.

Ética, conflicto de intereses y declaración de financiamiento: las autoras declaran haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en el manuscrito; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, están de acuerdo con la versión editada final del documento. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

RESULTADOS

A través del análisis de varianza se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($F_{(1,59)}=9,637$, $p=0,002$) entre el grupo de estudiantes expuesto a metodologías activas ($M=64,2818$, $DE=16,07$) en comparación al grupo que recibió clases magistrales ($M=54,4912$, $DE=18,39$) (Fig. 1). Además, se realizó el cálculo del tamaño del efecto a través de la prueba de Cohen, la cual, es una medida que indica la fuerza de un fenómeno y complementa la prueba de significancia; el tamaño del efecto resultó ser moderado $d=0,567016$.

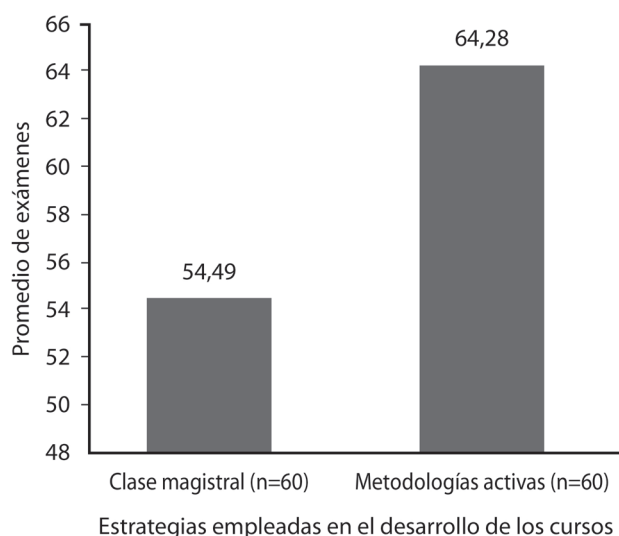


Fig. 1. Nota promedio de los exámenes rendidos durante el semestre para estudiantes de Física General I que cursaron con clase magistral (columna de la izquierda) y con metodologías activas (MA) (columna de la derecha).

DISCUSIÓN

El análisis de varianza reveló una diferencia estadísticamente significativa entre el promedio de los exámenes del grupo de estudiantes que recibió lecciones a través de metodologías activas en comparación al grupo de estudiantes que recibió el curso a través de clases magistrales. El primer grupo evidenció un promedio de nota superior y el tamaño del efecto resultó ser moderado.

Esta diferencia en los promedios de las calificaciones entre ambos grupos podría sugerir que algunas de las características de la estrategia pedagógica empleada a lo largo del curso estarían incidiendo en el rendimiento académico. Tal y como mencionan Kyriakides y Creemers (2008) existen algunos factores asociados a un desempeño estudiantil satisfactorio tales como el planeamiento de las lecciones, planteamiento de preguntas medulares, realimentación a dichas preguntas e interacción constante entre el docente y el estudiantado. Es importante resaltar, que todos estos factores están presentes en las lecciones impartidas a través de instrucción entre pares y enseñanza justo a tiempo y podrían estar incidiendo en los resultados hallados.

En el caso de esta experiencia educativa, los estudiantes que participaron en el grupo facilitado a través de metodologías activas debían conocer la materia y al llegar a clase, por medio de las preguntas planteadas por el profesor, explicar con sus propias palabras el significado de sus aprendizajes. Además debían construir definiciones de conceptos de forma colaborativa a partir del

análisis de las lecturas realizadas; según Mazur (1997) y Reigeluth et al. (2017) experiencias educativas con esas características pueden generar aprendizajes significativos. De esta forma, esta investigación aporta evidencia que refuerza la premisa de que realizar modificaciones en el abordaje pedagógico puede incidir en las calificaciones de los estudiantes (Kyriakides & Creemers, 2008).

Adicionalmente, este tipo de metodologías generan un sentido de responsabilidad en el estudiantado, tanto con la persona que imparte el curso como con sus compañeros de clase, ya que la discusión y la dinámica se ve enriquecida si todas las personas han estado dando seguimiento a los contenidos del curso. A diferencia de la clase magistral en la que el aporte del conocimiento viene por parte del profesor y la ausencia de estudiantes no perjudica de manera alguna el desarrollo de la clase, a través de esta modalidad todas las personas deben contribuir con el aprendizaje del grupo. Esto es congruente con lo planteado por Antoniou (2013) quien afirma que cuando una persona se ve expuesta a la resolución de problemas complejos los cuales requieren de respuestas reflexivas; tanto docentes como estudiantes desarrollan un comportamiento más competente y eficiente ante la información.

Es importante hacer la salvedad de que estos datos no pueden ser interpretados como una relación causal, tomando en cuenta que no hubo una aleatorización de los participantes a los dos grupos (Seltman, 2018). Sin embargo permiten hacer una comparación cuantitativa de los resultados encontrados en ese momento específico, aún se desconocen si otros factores como conocimientos previos del estudiantado o el docente pueden estar influyendo en los resultados. Es importante que se continúen invirtiendo esfuerzos en la sistematización de estas experiencias para la toma de decisiones basadas en evidencia.

Según la experiencia de los profesores que impartieron los cursos con estas nuevas metodologías uno de los retos detectados fue la resistencia por parte de los estudiantes, ya que algunos expresaban disconformidad pues consideraban que el curso era más demandante. El abordaje por parte del equipo docente para trabajar estas resistencias fue mostrarles resultados de investigaciones recientes en las que se evidencian las diferencias en el desempeño académico en los cursos mediados a través de metodologías activas.

En el futuro, sería valioso poder integrar a más personas en estas iniciativas que permitan mejorar la formación integral de los estudiantes. Tal y como mencionan Desimone et al. (2002) y Antoniu (2013) es necesario que tanto docentes como instituciones dejen de asumir que todos los profesores poseen las habilidades cognitivas

que facilitan una ganancia en el aprendizaje estudiantil sin una capacitación adecuada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Vicerrectoría de Docencia y al Centro de Desarrollo Académico del TEC y a los colegas de la Escuela de Física que nos brindaron datos estadísticos de sus grupos para realizar este estudio.

REFERENCIAS

- Antoniou, P. (2013). A longitudinal study investigating relations between stages of effective teaching, teaching experience, and teacher professional development approaches. *Journal of Classroom Interaction*, 48(2), 25-40.
- Antoniou, P., & Kyriakides, L. (2011). A dynamic integrated approach to teacher professional development: Impact and sustainability of the effects on improving teacher behaviour and student outcomes. *Teaching and Teacher Education*, 29, 1-12. DOI: 10.1016/j.tate.2012.08.001
- Avalos, B. (2011). Teacher professional development in teaching and teacher education over ten years. *Teaching and Teacher Education*, 27(1), 10-20. DOI: 10.1016/j.tate.2010.08.007
- Brekelmans, M., Sleegers, P., & Fraser, B.J. (2000). Teaching for active learning. En P.R.J. Simons, J.L. van der Linden, & T. Duffy (Eds.), *New Learning* (pp. 227-242). Dordrecht, Holanda: Kluwer. DOI: 10.1007/0-306-47614-2_12
- Carr, R., Palmer, S., & Hagel, P. (2015). Active learning: The importance of developing a comprehensive measure. *Active Learning in Higher Education*, 16(3), 173-186. DOI: 10.1177/1469787415589529
- Carraway, K. (2014). *Transforming your teaching: Practical classroom strategies informed by cognitive neuroscience*. Nueva York: W.W. Norton & Company.
- Chan, K., Cheung, G., Brown, I., & Luk, G. (2015). Synthesizing technology adoption and learners' approaches towards active learning in higher education. *The Electronic Journal of e-Learning*, 13(6), 431-440.
- Conford, I.R. (2002). Reflective teaching: Empirical research findings and some implications for teacher education. *Journal of Vocational education and Training*, 54(2), 219-236. DOI: 10.1080/13636820200200196
- Creemers, B.P.M., & Kyriakides, L. (2006). Critical analysis of the current approaches to modelling educational effectiveness: the importance of establishing a dynamic model. *School Effectiveness and School Improvement*, 17(3), 347-366. DOI: 10.1080/09243450600697242
- Crouch, C.H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977. DOI: 10.1119/1.1374249

- Crouch, C., Watkins, J., Fagen, A.P., & Mazur, E. (2007). Peer instruction: Engaging students one-on-one, all at once. *Research-Based Reform of University Physics*, 1(1), 40-95.
- Desimone, L., Porter, A., Garet, M., Yoon, K., & Birman, B. (2002). Effects of Professional Development on Teachers' Instruction: Results from a Three-Year Longitudinal Study. *American Educational Research Association*, 42(2), 81-112. DOI: 10.3102/01623737024002081
- Ferreira, A., & Gonzalez, E. (2000). Reflexiones sobre la enseñanza de la física universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(12), 189-199.
- Fraser, J., Timan, A., Miller, K., Dowd, J., Tucker, L., & Mazur, E. (2014). Teaching and physics education research: Bridging the gap. *Reports on Progress in Physics*, 77(3), 1-17. DOI: 10.1088/0034-4885/77/3/032401
- Goldberg, F., & Bendall, S. (1995). Making the invisible visible: A teaching/learning environment that builds on a new view of the physics learner. *American Journal of Physics*, 63(11), 978-991. DOI: 10.1119/1.18085
- Hake, 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. DOI: 10.1119/1.18809
- Hong, H.Y., Lin, P.Y., Chen, B., & Chen, N. (2018). Integrated STEM learning in an idea-centered knowledge-building environment. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 28(1), 63-76. DOI: 10.1007/s40299-018-0409-y
- Kyriakides, L., & Creemers, B.P.M. (2008). Using a multidimensional approach to measure the impact of classroom-level factors upon student achievement: a study testing the validity of the dynamic model. *School Effectiveness and School Improvement*, 19(2), 183-205. DOI: 10.1080/09243450802047873
- Kyriakides, L., Creemers, B.P.M., & Antoniou, P. (2009). Teacher behaviour and student outcomes: Suggestions for research on teacher training and professional development. *Teaching and Teacher Education*, 25(1), 12-23. DOI: 10.1016/j.tate.2008.06.001
- March, F. (2006). Metodologías activas para la formación de competencias. *Educatio Siglo XXI*, 24, 35-56.
- Marrs, K.A., & Novak, G. (2004). Just-in-time teaching in biology: Creating an active learner classroom using the internet. *Cell Biology Education*, 3(1), 49-61. DOI: 10.1187/cbe.03-11-0022
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Meltzer, D., & Thornton, R. (2012). Resource letter ALIP-1: Active-learning instruction in physics. *American Journal of Physics*, 80(478), 478-496. DOI: 10.1119/1.3678299
- Olson, K.A., Desimone, L.M., Le Floch, K.C., & Birman, B.F. (2002, abril). *Asking about teachers' professional development: How do we know what teachers know?* In Annual meeting of the American Educational Research Association. New Orleans, USA.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2005). *Teachers matter: Attracting, developing, and retaining effective teachers*. Paris: OECD.
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI). (2010). *Metas educativas: La educación que queremos para la generación de los bicentenarios 2021*. Madrid, España: OEI.
- Reigeluth, C., Myers, R., & Lee, D. (2017). The learner-centered paradigm of education. In C., Reigeluth, B., Beatty, & R., Myers (Eds.), *Instructional-design theories and models* (pp. 5-30). Nueva York: Routledge.
- Reynolds, D., Sammons, P., De Fraine, B., Van Damme, J., Townsend, T., Teddlie, C., & Stringfield, S. (2014). Educational effectiveness research (EER): A state-of-the-art review. *School Effectiveness and School Improvement*, 25(2), 197-230. DOI: 10.1080/09243453.2014.885450
- Sánchez, I., Moreira, M., & Caballero, C. (2011). Implementación de una renovación metodológica para un aprendizaje significativo en física I. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(2), 475-484.
- Seltman, H.J. (2018). *Experimental design and analysis*. Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie Mellon University.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2009). *Las nuevas dinámicas de la educación superior y de la investigación para el cambio social y el desarrollo*. París, Francia: UNESCO.
- Wainmaier, C.O., & Plastino, A. (1995). En búsqueda de una enseñanza que propicie aprendizajes significativos. *Memorias*, 9, 93-101.
- Wieman, C.E. (2014). Large-scale comparison of science teaching methods sends clear message. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8319-8320. DOI: 10.1073/pnas.1407304111