

Aprendizaje conceptual en un curso de física general basado en estrategias de aprendizaje activo

Conceptual learning in a general physics course based on active-learning teaching strategies

Myriam Villegas^{1,2} y Julio Benegas^{1,3*}

¹Departamento de Física, Facultad de Cs Físico, Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Ejército de los Andes 950, San Luis, Argentina.

²Instituto de Física Aplicada (INFAP), UNSL-CONICET.

³Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL), UNSL-CONICET.

*E-mail: jcbenegas@gmail.com

Resumen

Este trabajo considera del problema del aprendizaje conceptual que puede lograrse en un curso de física general, entendido como aquel que incluye prácticamente todos los temas de la física clásica. A tal efecto se evalúa, mediante test de respuestas de opción múltiple basados en la investigación educativa, el aprendizaje conceptual logrado por alumnos de los profesorados en matemática y en biología que siguieron un curso de física basado en la utilización de reconocidas estrategias de enseñanza para el aprendizaje activo de la física. Los resultados obtenidos sugieren que se puede lograr un buen nivel de aprendizaje conceptual en prácticamente todos los temas evaluados, comparable incluso a los logrados en cursos más extendidos de carreras de ingeniería y de ciencias que han utilizado similares estrategias de aprendizaje activo. Los datos sugieren incluso que estos aprendizajes son superiores a los que se obtienen en cursos similares que siguieron una pedagogía tradicional, centrada en el profesor. Se identifican algunas falencias de aprendizaje, indicándose algunas posibilidades didácticas para su superación.

Palabras clave: Física general; Aprendizaje activo; Aprendizaje conceptual; Ganancia normalizada; FCI.

Abstract

This work study the conceptual learning that can be obtained in a general physics course that includes practically all the main topics of classical physics. The conceptual learning outputs on a course designed upon the active learning principles and teaching strategies have been evaluated through the application of research-based multiple-choice tests. Results suggest that a satisfactory degree of conceptual learning can be obtained in almost all evaluated physics subjects, comparable with learnings obtained in more extended courses also based upon active learning pedagogies, and higher than learnings obtained in similar courses that followed teacher-centered pedagogies. Some learning failures have been identified and suggestions for their treatment are included.

Keywords: General physics; Active learning; Conceptual learning; Normalized gain; FCI.

I. INTRODUCCIÓN

Abordamos en este trabajo el problema del aprendizaje conceptual que puede lograrse en un curso de física general, entendido como el tipo de cursos con una temática que abarca toda la física clásica, y en algunos casos algún tema de lo que llamamos física moderna. Si bien ese tipo de cursos se ofrece en general para carreras fuera del ámbito de las ciencias experimentales, en nuestro sistema educativo universitario constituye toda la instrucción en física que se requiere en programas de ciencias como biología, farmacia o bioquímica (Benegas, Villegas, Pérez de Landazábal y

Otero, 2006). En el caso que nos ocupa, esta materia constituye la formación en física que reciben los futuros profesores de matemática y de biología. Esto es un grave problema también para la enseñanza de la física a nivel preuniversitario, pues en nuestro sistema educativo, y aún en algunos tecnológicamente más avanzados (Meltzer, Plisch y Vokos, 2013), es frecuente que física sea dictada por profesores de estas disciplinas. Es urgente por tanto que estos futuros profesores tengan, al menos, un conocimiento conceptual satisfactorio de los principales temas de la física básica. Como problema educativo es difícil encontrar antecedentes de investigaciones didácticas que tengan como objetivo a este tipo de cursos de física general (denominada frecuentemente en la literatura como “Física para no científicos”). Sobel (2009), por ejemplo, simplemente sugiere que estos cursos, además del tratamiento conceptual y descriptivo que proponen, incorporen resolución de problemas, pero que no involucren dificultades matemáticas ni la necesidad de que el alumno desarrolle, por sí mismo, una metodología de resolución de problemas, algo que según el autor se logra con una formación física más extensa y una práctica intensa y sostenida de resolución de problemas. Nuestra propia evidencia (Benegas et al. 2006) alerta que la extensión del contenido necesariamente resulta en un conocimiento más superficial de los temas tratados. Ante ello, y frente a la necesidad de que estos alumnos egresen tanto con un conocimiento conceptual y una capacidad de resolución de problemas razonable, se diseñó, para estos futuros profesores, un curso de física general basado en la utilización de reconocidas estrategias de aprendizaje activo. Esta aproximación se utilizó tanto en las actividades destinadas a desarrollar conceptos (“teorías”) como las de resolución de problemas y de laboratorio. En este marco, el objetivo de este trabajo es evaluar el grado de aprendizaje conceptual que se logra en los temas contenidos en un curso de física general que utiliza estrategias de aprendizaje activo de la física.

II. MARCO CONCEPTUAL

Este trabajo propone la evaluación de una propuesta didáctica de tipo constructivista en un curso de física general. En esta aproximación el conocimiento no se produce por una transmisión directa del docente al alumno, sino que es construido en la mente del estudiante como resultado de la interacción entre lo que el alumno cree y conoce, y los fenómenos, ideas y conceptos que le presenta la instrucción. El aprendizaje solo ocurre si el estudiante está activamente involucrado en su propio proceso de aprendizaje, en un proceso personal y social destinado a integrar el nuevo conocimiento con los modelos mentales, preexistentes en cada alumno, de cómo funcionan las cosas en el mundo real (von Glasersfeld, 1993). Dentro de este marco conceptual utilizaremos en este trabajo los resultados obtenidos en la aproximación denominada aprendizaje activo de la física. Basados en estos principios y en la evidencia científica que ampliamente corrobora que las estrategias de aprendizaje activo de la física son mucho más efectivas que la enseñanza tradicional centrada en el profesor (Hake, 1998; Von Korff et al., 2016), para el dictado de este curso de física general se utilizaron reconocidas estrategias de aprendizaje activo (Meltzer y Thornton, 2012). Estas fueron utilizadas tanto para desarrollar los conceptos en las clases de “teorías”, como en las de Tutoriales y prácticas de problemas y de laboratorio. La característica central de estas metodologías de enseñanza es que están basadas, evaluadas y validadas por la investigación educativa en enseñanza y aprendizaje de la física. Las estrategias de aprendizaje activo hacen un uso intensivo del aprendizaje social, estimulando que los alumnos expresen sus ideas tanto en forma verbal como escrita, promoviendo la interacción entre pares en grupos pequeños y de toda la clase, en un proceso interactivo facilitado por el docente. Para acompañar el desarrollo y la aplicación de estrategias de aprendizaje activo, la investigación educativa en física ha generado importantes test de respuesta de opción múltiple (ROM). Las preguntas de estos test están ambientadas en contextos más o menos cotidianos e incluyen, como distractores, los modelos alternativos y dificultades de aprendizaje que la investigación educativa ha demostrado son comunes a la mayor parte de los estudiantes en diversos sistemas educativos (Bao y Redish, 2001). Para información actualizada sobre investigación educativa, metodologías de enseñanza y test ROM para la evaluación conceptual de distintas áreas de la física, siempre en la línea de aprendizaje activo de la física, se refiere al lector interesado al sitio physport.org.

III. MÉTODOS

En este trabajo se analizan los resultados de aprendizaje conceptual de distintos temas de la física general obtenidos por la aplicación de dos test de respuestas de opción múltiple a un grupo de estudiantes de las carreras de profesorado en biología y profesorado en matemática ($N_{\text{mat}}= 17$, $N_{\text{biol}}= 3$; 30% hombres, 70% mujeres) inscriptos en el curso de física general requerido por sus respectivos planes de estudio. A este grupo de estudiantes, determinado institucionalmente, se le aplicó una metodología de aprendizaje basada en estrategias de enseñanza que favorecen el aprendizaje activo de la física. Esta aproximación didáctica, descrita más abajo, constituyó el tratamiento experimental. La metodología de investigación siguió un diseño de tipo preexperimental simple, donde se utilizaron como instrumentos

de evaluación del aprendizaje conceptual dos test de respuestas de opción múltiple: el Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992) y otro test, también de ROM, pero con un temario más amplio destinado a cubrir los principales temas de este curso de física general, que llamaremos test de física general (TFG). Este último fue aplicado al inicio y al final de la instrucción, mientras que el FCI fue solo aplicado al final de la primera parte del curso, cuando se habían desarrollado los temas de cinemática lineal y leyes de Newton. Por lo tanto, podemos decir que se utilizaron los dos esquemas más simples de estudio preexperimental, tratamiento preexperimental con pre y post test, para el caso del TFG y solo con test post instrucción para el FCI. El contexto de este estudio no hizo posible constituir un grupo control.

A. Diseño del curso de física general

Las reglamentaciones de la universidad establecen que este curso, para ambas carreras, tiene por contenido todos los principales temas de la física clásica: cinemática, dinámica, trabajo y energía, fluidos, electricidad y magnetismo, ondas, sonido, óptica física y geométrica. Dado que los destinatarios son futuros profesores de biología y de matemática, los cuales en la práctica muy frecuentemente deben enseñar temas de física, se optó por resaltar algunos temas que normalmente se enseñan en la escuela secundaria, como líquidos, en reposo y en movimiento, y circuitos eléctricos simples. Este extenso temario debe realizarse en un cuatrimestre de 14 semanas, con un crédito horario semanal de 6 horas reloj, por lo que cada semana el tema cambia, a veces casi sin relación con el anterior. Los temas se desarrollaron en tres periodos, el primero de cinemática y leyes de Newton, incluyendo movimiento en dos dimensiones, abarcó unas 5 semanas, el segundo con fluidos, electricidad, magnetismo y circuitos otras cinco semanas y el último dedicado a ondas, sonido y óptica física y geométrica fue desarrollado en otras cuatro semanas. Al final de cada período se realizó una evaluación institucional, consistente en un examen escrito constituido principalmente por problemas. Un 20% de la valoración final correspondió al trabajo realizado por el estudiante durante las prácticas de Tutoriales y de problemas, así como a prácticos especiales de simulación. Una típica semana comenzaba con una clase de “teoría” de dos horas de duración. Para el desarrollo de estas clases se adoptó una estrategia de clase invertida (Bergmann y Sams, 2012), basada en la utilización de videos, tomados generalmente del sitio de la Kahn Academy (2019). Siguiendo esta aproximación los temas de la semana se desarrollaron en la primera hora de clase, en la cual se hizo un frecuente uso de preguntas de respuestas múltiples a ser contestadas por los alumnos siguiendo la dinámica propuesta por la estrategia de enseñanza Instrucción por Pares (IP) (Mazur, 1997), generando así una interacción entre pequeños grupos de estudiantes y también de toda la clase. Este proceso, basado en el aprendizaje social, generalmente se complementaba en la segunda hora con una Clase Interactiva Demostrativa (CID) (Sokolof y Thornton, 2004), o si no con simples aplicaciones y/o ejercitación de problemas cuando no estaba disponible una CID para el tema de la semana. La segunda reunión de la semana, también de dos horas de duración, estaba generalmente destinada a desarrollar un Tutorial, actividad didáctica correspondiente a la estrategia Tutoriales para Física Introductoria (McDermott y Shaffer, 2001), aunque en algunas semanas este espacio fue utilizado para realizar prácticas de laboratorio sencillas, cuyo objetivo principal era contribuir al aprendizaje conceptual. Estas dos primeras clases de la semana estaban destinadas a la adquisición de los conceptos necesarios para que, en una tercera clase, los estudiantes pudieran realizar prácticas de problemas. En estas clases, siguiendo una guía de problemas con ejercicios de tipo conceptual y problemas ricos en contexto (Heller y Heller, 1999) se utilizó la estrategia de resolución de problemas GOAL (Beichner, 2006), que consta de cuatro pasos, similares a los utilizados en la estrategia de resolución de problemas propuestas originalmente por Polya (1945) para la resolución de problemas de matemática. Por brevedad, el lector interesado es referido al libro de Redish (2004) para una descripción detallada de la fundamentación y características de estas estrategias de aprendizaje activo de la física. La ejercitación fue reforzada con prácticas de simulación que los estudiantes debían realizar, fuera del horario de clases, en grupos de dos y enviar al docente para evaluación y devolución. Como simuladores se utilizaron los provistos por el sitio PhET (2019), del cual también fueron adaptadas algunas de las actividades prácticas propuestas a los alumnos. Los simuladores PhET fueron además utilizados como herramienta didáctica en algunas clases de teoría.

B. Instrumentos de medición: FCI y TFG

El FCI (Hestenes et al., 1992) es seguramente el test ROM más utilizado a nivel mundial tanto en la investigación educativa como en la enseñanza de la física. Es un test que consta de 30 preguntas que indagan sobre el conocimiento conceptual de fuerza y movimiento. Como otros test basados en la investigación educativa, las preguntas del FCI pueden agruparse en dimensiones conceptuales que, según sus autores son: cinemática, 1.^a Ley de Newton, 2.^a Ley de Newton, 3.^a Ley de Newton, principio de superposición y tipos de fuerza, estableciendo además cuales ítems corresponden a cada dimensión y cuales distractores corresponden a los modelos alternativos y dificultades de aprendizaje utilizados en ese test (Hestenes et al., 1992).

Para evaluar los distintos temas tratados en este curso de física general se utilizó un test ROM que denominamos test de física general (TFG), el cual fue originalmente desarrollado para evaluar el conocimiento conceptual que, acerca de los principales temas de física, tenían los ingresantes universitarios en distintos países iberoamericanos (Benegas et al., 2010). La mayoría de las preguntas fueron tomadas de conocidos test ROM y de la literatura de física educativa. Contiene 4 ítems del FCI (sus preguntas 2, 15, 25 y 28), que tratan sobre equilibrio de fuerzas a velocidad constante, 3.ª Ley de Newton y movimiento en 2D. Otras tres preguntas corresponden a los ítems 3, 4 y 5 del test *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism*, (CSEM) (Maloney, O'Kuma, Hieggelke y Van Heuvelen, 2001), que indagan sobre aspectos de la Ley de Coulomb. Otras dos preguntas se tomaron del test *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test* (DIRECT) (Engelhardt y Beichner, 2004), las cuales indagan sobre la comprensión de las condiciones para tener un circuito cerrado y sobre conservación de corriente en un circuito en paralelo. El TFG también contiene tres preguntas sobre el movimiento vertical de una pelota de tenis (Watts y Zylbersztajn, 1981), dos preguntas sobre fuerza y energía de un cilindro que es subido por dos planos de diferente inclinación (Bliss, Morrison y Ogborn, 1988, Hierrezuelo y Montero, 1989). Otras dos preguntas se refieren a fluidos, en reposo y en movimiento. El test también contiene cuatro preguntas de matemática básica sobre vectores, derivada en una gráfica de posición-tiempo, trigonometría y función lineal. En este experimento el TFG fue aplicado antes (pre) y al final de la instrucción (post). Esto nos permite calcular la ganancia absoluta obtenida por la instrucción. Sin embargo, y sobre todo a los fines comparativos, utilizaremos aquí la ganancia normalizada, g , o índice de Hake (1998), definida como el cociente entre la ganancia absoluta obtenida ($\text{post} - \text{pre}$) y la máxima ganancia posible ($100 - \text{pre}$), donde pre/post indica el respectivo rendimiento promedio (en %) sobre toda la muestra. Siendo g un índice intensivo del aprendizaje obtenido, lo utilizaremos aquí como medida objetiva de la efectividad de la instrucción. Por último, separado de este experimento, y solo a los fines comparativos, se mostrarán resultados de la aplicación del test TFG a alumnos de dos cursos de Física (general) para alumnos de la Lic. en Farmacia de esta Universidad, curso de contenidos y condiciones de dictado equivalentes al presente. Un curso fue dictado siguiendo una metodología tradicional basada en clases expositivas ($N_{\text{TRD}}=48$, 32 mujeres) y el otro utilizando estrategias de aprendizaje activo, muy similar al presente curso para futuros profesores ($N_{\text{AA}}= 51$, 30 mujeres). La asignatura Física en la carrera de Lic. En Farmacia corresponde al 2.º año de estudios, y por lo tanto estos alumnos tenían la instrucción suficiente en matemáticas (y química) para este curso de física general sin cálculo.

IV. RESULTADOS

Como se estableció en Métodos, en este trabajo el conocimiento fue medido mediante dos test de respuestas de opción múltiple. El primero es el FCI, aplicado al final del primer tercio de la materia, después de haber desarrollado los temas de cinemática y leyes de Newton. El rendimiento promedio de toda la clase en los 30 ítems del test fue de 57%, con una gran diferencia en rendimiento por pregunta, desde magro 10% de la pregunta 21 hasta un excelente 90% del ítem 29. Esta variabilidad indica que hay algunos temas que estos alumnos no han aprendido adecuadamente, pero también que el test contiene preguntas de variado grado de dificultad, algo considerado un atributo en este tipo de test. Los autores del FCI establecen un rendimiento del 60 % como umbral del conocimiento conceptual necesario para poder resolver problemas de fuerza y movimiento de manera eficiente. En la muestra estudiada 10% de los alumnos tuvo un rendimiento inferior al 30%, 42% entre 30 y 60% (de los cuales casi la mitad tuvo un rendimiento entre 50 y 60%) y 48% tuvo un rendimiento entre 60 y 80% (38% con rendimiento superior al 70%). Ninguno tuvo un rendimiento mayor al 80%, que Hestenes et al. consideran condición necesaria para un dominio acabado (*mastering*) del marco newtoniano.

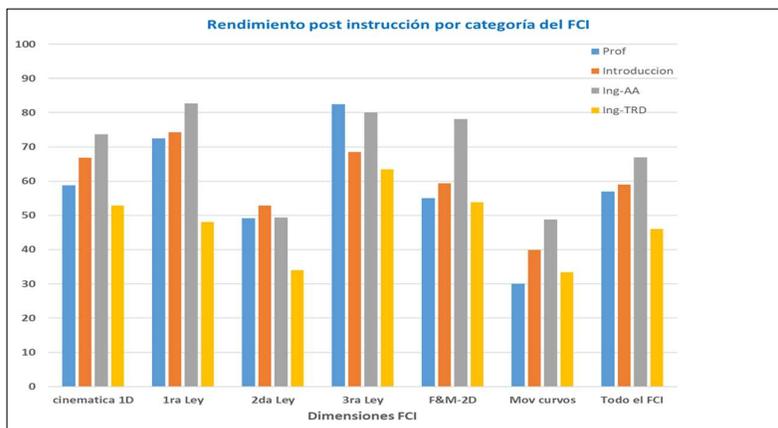


FIGURA 1. Rendimiento post instrucción con las preguntas del FCI agrupadas en las dimensiones cinemática 1D, 1.^a Ley, 2.^a y 3.^a leyes de Newton, fuerza y movimiento en 2D y movimientos curvos en los cuales la fuerza aplicada es perpendicular a la dirección de movimiento. La última columna a la derecha indica el promedio de las preguntas de todas estas dimensiones. En cada dimensión se representan, de izquierda a derecha los resultados de los estudiantes del curso de Física de Profesorado, Introducción a la Física, Mecánica de ingeniería, dictado con aprendizaje activo y de manera tradicional, respectivamente.

Aunque por las características de construcción del FCI, se podría realizar un análisis más profundo de los modelos alternativos y dificultades de aprendizaje remanentes en esta muestra estudiantil, a los fines de este trabajo es conveniente agrupar las preguntas del FCI según las dimensiones principales de los conceptos fuerza y movimiento evaluadas por el test. La figura 1 muestra tal rendimiento por categoría del FCI, separándose, a los efectos del análisis de rendimiento, aquellas preguntas donde se aplican fuerzas perpendiculares a la dirección movimiento, y que resultan en movimientos curvos. Estos resultados muestran que, a partir de un rendimiento en todo el FCI de 57%, el rendimiento en ítems correspondientes a la 3.^a Ley de Newton es bastante mejor que el promedio, lo mismo que aquellos correspondientes a la 1.^a Ley, mientras que en los ítems relacionados con fuerzas perpendiculares a la dirección de movimiento el rendimiento es mucho menor, prácticamente la mitad que el promedio de todo el test.

A. Rendimiento en el Test de Física General

El rendimiento en los 21 ítems del TFG es muy variado, desde 21% obtenido en la pregunta que requiere comparar la fuerza necesaria para subir un cilindro por dos planos de distinta inclinación e igual altura, hasta el 93% obtenido para la fuerza sobre una pelota de tenis en movimiento de caída libre. Para el análisis de aprendizaje, en la figura 2 se han representado el rendimiento pre y post instrucción agrupando las preguntas por dimensiones, en este caso según el test ROM del cual fueron obtenidas, o por gran tema de física: fuerza y energía en distintos planos inclinados, caída libre y fluidos. La primera dimensión corresponde a las cuatro preguntas de matemáticas. El rendimiento medio sobre todo el test evolucionó desde un 35% al inicio del curso hasta un 67% al final del mismo, lo cual resulta en una ganancia normalizada $g=0,49$. Vemos que los temas del FCI y CSEM tienen ganancias normalizadas similares a la media total, mientras que las preguntas sobre movimiento vertical y circuitos eléctricos tienen excelentes resultados finales y ganancias normalizadas (ver figura 3).

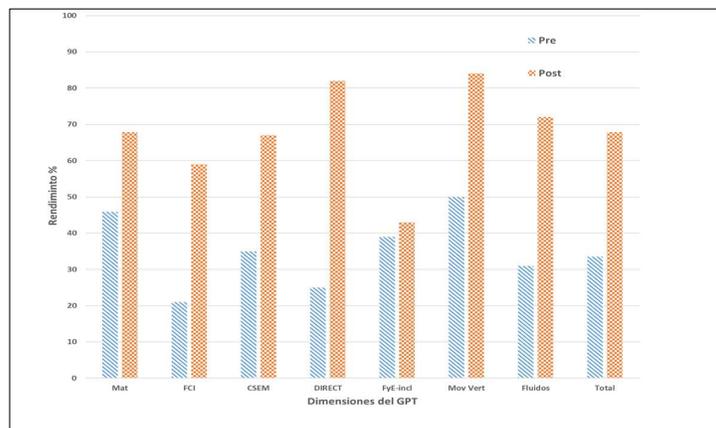


FIGURA 2. Rendimiento pre y post instrucción en el TFG. Las preguntas han sido agrupadas en dimensiones, según el test ROM de la cual fueron tomadas o por el tema al cual pertenecen: matemáticas, FCI, CSEM, DIRECT, fuerza y energía en planos inclinados, movimiento vertical y fluidos. El grupo a la derecha representa los respectivos promedios sobre todo el test. En cada grupo la barra de la derecha corresponde a la respectiva ganancia normalizada.

En cambio, el rendimiento en las preguntas sobre movimiento en planos inclinados es de muy bajo, especialmente en la pregunta donde se pide comparar la fuerza necesaria para elevar un cilindro por dos planos de diferente inclinación. Notable también, aunque fuera del objetivo de este trabajo es la mejora en las cuatro preguntas de matemática, que, aunque sobre temas del currículo de la escuela secundaria, la práctica realizada en este curso parece haber resultado en una mejora en la comprensión conceptual de estos temas de matemática elemental.

V. DISCUSIÓN

Si bien los resultados de la sección anterior son indicativos de los logros y limitaciones de la instrucción propuesta, trataremos de ponerlos en una perspectiva más amplia, comparando con resultados de otras muestras, incluidas en la figura 1 y que, aunque no estrictamente equivalentes a la de este trabajo, tienen un buen grado de similitud. Estas tres muestras corresponden a *Intro* constituida por alumnos de la asignatura Introducción a la Física, cuyo contenido se limita a cinemática lineal y leyes de Newton (Benegas et al., 2006). Esta materia, que se cursa en el primer cuatrimestre de primer año tiene, entre sus objetivos, un carácter propedéutico, preparatorio para el cursado de Física I (mecánica) de la Licenciatura y Profesorado en Física. Este curso también debe ser cursado por los alumnos (de primer año) del Profesorado en Matemática con el objetivo de que tengan una visión cualitativa de la física del movimiento, que se integre y complemente con el cursado simultáneo de Introducción al Cálculo. Los otros dos cursos corresponden a alumnos que cursan la asignatura Mecánica (Física I) para las distintas carreras de ingeniería que se dictan en otra universidad nacional, precursora en la región en la formación de ingenieros. Uno de los cursos (Ing-AA) se dictó utilizando estrategias de enseñanza para el aprendizaje activo (principalmente Tutoriales), mientras que el otro (Ing-TRD) se dictó de manera tradicional, con una pedagogía centrada en el profesor (Godoy, Benegas y Pandiella, 2012).

Un primer resultado general es que el grado de logro, según tema, parece variar de similar manera para todas las muestras, con un mejor rendimiento en los ítems de la 3.^a Ley de Newton, y más bajo que el promedio para los ítems sobre la 2.^a Ley de Newton, algo que merece un análisis más detallado, pero fuera del objetivo de este trabajo. Otro aspecto común a todas las muestras es el rendimiento notoriamente más bajo en los ítems que evalúan aspectos de movimientos curvos. Los resultados sugieren además que el aprendizaje conceptual obtenido en el curso para profesores es comparable al de Introducción, claramente superior al curso de mecánica para ingenieros dictado de manera tradicional, y con un grado de logro alrededor de 15% inferior al obtenido en el curso de ingeniería con aprendizaje activo.

A los efectos de evaluar los aprendizajes logrados en este curso, y solo a fines comparativos que sugieran tendencias, en la figura 3 se ha representado la ganancia normalizada por dimensión del FCI, para las cuatro muestras estudiantiles de la figura 1, pero también, aprovechando la universalidad del FCI y los datos publicados en Hestenes et al. (1992) se incluyeron muestras de otros sistemas educativos: AR-reg, correspondiente a alumnos de cursos de mecánica de escuelas secundarias del estado de Arizona (USA) y “van Heuv” correspondiente al curso universitario de mecánica dictado de manera experimental por el profesor van Heuvelen en la Universidad de Arizona. A los fines de esta

gráfica se ha supuesto que los valores pre-instrucción de la muestra Prof son similares a los de la muestra Introducción. Observamos nuevamente una variación del aprendizaje (la ganancia g) por tema similar para todas las muestras, siempre con mejor rendimiento en temas de la 3.^a Ley de Newton y menor para movimientos curvos. El carácter universal del FCI permite además inferir que se han logrado resultados superiores a los de la muestra AR-reg, y solo ligeramente inferiores a los logrados en el curso de mecánica de la Universidad de Arizona. En su extenso estudio de varios miles de estudiantes de diversos sistemas y niveles educativos Hake (1998) concluyó que, 14 cursos que practicaron una didáctica tradicional, tuvieron una ganancia normalizada baja ($g_{TRD} = 0,23 \pm 0,06$), mientras que 48 cursos dictados siguiendo alguna estrategia de aprendizaje activo obtuvieron una ganancia claramente superior ($g_{AA} = 0,48 \pm 0,11$). La ganancia del presente curso está justamente en la media del grupo de cursos dictados con estrategias de AA informados por Hake, claramente diferenciado de aquellos que han seguido una pedagogía centrada en el profesor.

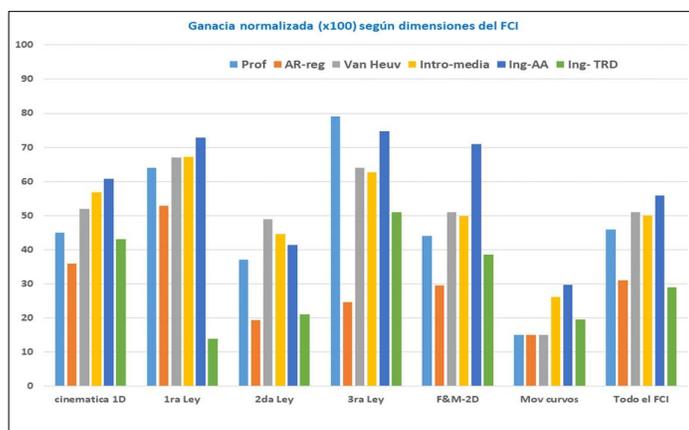


FIGURA 3. Ganancia normalizada, g ($\times 100$) para las dimensiones del FCI cinemática 1D, 1.^a, 2.^a y 3.^a leyes de Newton, fuerza y movimiento en 2D y movimientos curvos donde la fuerza aplicada es perpendicular a la dirección de movimiento. El grupo a la derecha representa la ganancia normalizada en todo el test. Para cada dimensión se han representado, de izquierda a derecha, los resultados de las muestras Profesorado, escuelas secundarias de Arizona (USA), del curso de mecánica dictado por van Heuvelen en la Universidad de Arizona, Introducción a la Física, ingeniería dictado mediante metodologías de aprendizaje activo e ingeniería dictado con pedagogía tradicional.

De manera que, si aceptamos al FCI como herramienta válida de evaluación de los conceptos fuerza y movimiento, los resultados sugieren que estos alumnos de los profesorados en Matemática y en Biología han obtenido, globalmente, un grado aceptable de conocimiento conceptual, comparable con el obtenido en cursos más extendidos, inclusive de sistemas educativos de sociedades tecnológicamente más avanzadas. Hay indicios, además, que este conocimiento conceptual es superior al que obtienen alumnos de ingeniería en cursos de mecánica cuya pedagogía está centrada en el profesor, es decir dictados de manera tradicional.

Respecto de los otros temas del curso de física general, evaluados aquí con el TFG, la figura 2 muestra que se han logrado buenos aprendizajes en todos ellos, excepto en las preguntas sobre fuerza y energía de un cilindro que es elevado a la misma altura, pero por dos planos de distinta inclinación. A los efectos comparativos, en la figura 4 se ha representado la ganancia normalizada, calculada según los grandes temas del curso (como en la figura 2), agregándose los resultados obtenidos en dos cursos de física general para alumnos de Lic. En Farmacia descriptos en Métodos. Mientras que el resultado global muestra nuevamente la importante diferencia de logro entre los dos cursos de aprendizaje activo (con aprendizaje global muy similar entre ellos) frente al de pedagogía tradicional, al separar por grandes temas se observa nuevamente una variabilidad de rendimiento de las muestras según el tema, desde el excelente aprendizaje en temas de circuitos y movimiento vertical, hasta el muy bajo logro en las preguntas de plano inclinado, lo cual sugiere que este tema constituye un importante obstáculo de aprendizaje en todas las muestras estudiadas.

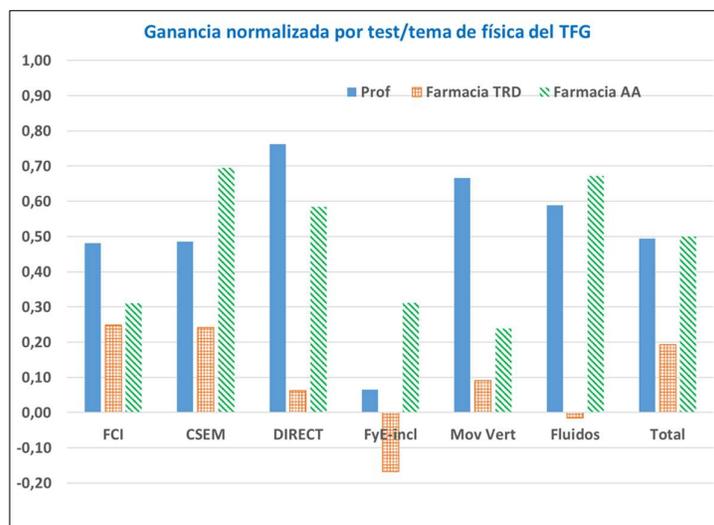


FIGURA 4. Ganancia normalizada, g , en las preguntas de física del TFG, agrupadas igual que en la figura 2, según el test ROM del cual fueron obtenidas o por tema. El grupo de la derecha representa el promedio de cada muestra sobre todas las preguntas de física. La muestra Prof corresponde a la del presente trabajo, mientras que Farmacia TRD y Farmacia AA corresponden, respectivamente, a los alumnos de la carrera de Licenciatura en Farmacia que siguieron un curso de física general similar al presente, dictado con una pedagogía centrada en el profesor o mediante estrategias de aprendizaje activo.

En respuesta a nuestra pregunta de investigación, los resultados expuestos parecen confirmar, dentro de lo limitado de nuestro diseño experimental, que en un curso de física general que utiliza metodologías de aprendizaje activo se puede lograr un nivel aceptable de aprendizaje conceptual de los principales temas de la física clásica, comparable al obtenido en cursos más extendidos, inclusive en aquellos de carreras de ingeniería, para los cuales la física es una ciencia básica. Si bien no estuvo entre los objetivos de esta experiencia determinar los efectos de cada estrategia de enseñanza utilizada, en las encuestas de opinión los alumnos rescataron el valor de las unidades didácticas de Tutoriales en la formación de su aprendizaje conceptual.

Respecto de las falencias de aprendizaje observadas en la presente instrucción, es claro que aquellos temas de movimiento en dos dimensiones, sobre todo originado por fuerzas impulsivas perpendiculares a la dirección de movimiento, no son dominados por estos estudiantes, los cuales además no han comprendido adecuadamente las características de fuerza y energía al comparar un movimiento en planos inclinados de distinta inclinación. Estos temas evidentemente necesitan de una instrucción extendida, que no ha sido posible en este curso por escasez de tiempo, pero existen unidades de aprendizaje, como el Tutorial "Movimiento en dos dimensiones" (McDermott et al., 2001), de reconocido valor didáctico, que podrían ser utilizados en un curso de menor cantidad de contenidos, que permita que los estudiantes tengan el tiempo necesario para asimilar cada concepto, antes de tener que pasar a otro diferente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo de la UNSL a través de subsidios al Proyecto de CyT PROICO 03-0416 "El Aprendizaje de la Física en alumnos universitarios, nuevas tecnologías y la formación del Profesorado".

REFERENCIAS

Bao, L. y Redish E. F. (2001). *Concentration Analysis: A Quantitative Assessment of Student States*. *American Journal of Physics*, 69(7), S45-53.

Beichner R. (2006). <https://www.compadre.org/per/items/detail.cfm?ID=4404>.

Benegas J., Villegas M., Pérez de Landazábal M. y Otero J. (2006). El frecuente absurdo educativo de cuando más es menos, *Actas SIEF 8*.

- Benegas J., Pérez de Landazábal M. y Otero J. (2010). Estudio de casos: Conocimientos físicos de los estudiantes cuando terminan la escuela secundaria: una advertencia y algunas alternativas. *Revista Mexicana de Física*, 56(1), 12-21.
- Bergmann, J. y Sams, A. (2012). *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day*. New York, NY: International Society for Technology in Education.
- Bliss, J., Morrison, I. y Ogborn, J. (1988). A longitudinal study of dynamics concepts. *International Journal of Science Education*, 10(1), 99-110.
- Engelhardt, P. y Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), p.98.
- Godoy, P., Benegas, J. y Pandiella, S. (2012). Active Learning of Physics: Synergy of Teaching Strategies. *Lat. Am. J. of Phys Ed.*, 6(1), 99-104.
- 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, 64-74.
- Heller, P., y Heller, K. (1999). Cooperative Group Problem Solving in Physics. University of Minnesota. <https://groups.physics.umn.edu/physed/Research/CGPS/GreenBook.html>
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. Madrid: Laia y M.E.C.
- Khan Academy (2019). <https://es.khanacademy.org/>
- Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. y Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism, *American Journal of Physics Suppl*, 69(7).
- Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall, N.Y.
- McDermott, L. C y Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics* 67, 755.
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S. y el Physics Education Group de la University of Washington (2001). *Tutoriales para Física Introductoria*. Buenos Aires: Prentice Hall.
- Meltzer, D. y Thornton, R. (2012). Resource Letter ALIP-1: Active-Learning Instruction in Physics. *American Journal of Physics*, 80(6), 478.
- Meltzer, D. E., Plisch, M. y Vokos, S. (2013). The role of physics departments in high school teacher education. *American Physical Society*.
- PhET. (2019). <https://phet.colorado.edu/es/simulations/translated/es>.
- Polya, G. (1945). *How to solve it*. Doubleday Anchor Books.
- Redish, E. F. (2004). *Teaching Physics with the Physics Suite*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Sobel, M. (2009). Physics for Non-Scientist: A Middle Way. *Physics Teacher*, 47, 346-349.
- Sokoloff, D. y Thornton, R. (2004). *Interactive Lecture Demonstrations*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Von Glasersfeld, E. (1993). Questions and answers about radical constructivism. En K. Tobin (Ed.) *The practice of constructivism in science education* (23-38). Hillsdale: Erlbaum.

Von Korff, J. S., Archibeque, B., Gomez K. A., Heckendorf, T., McKagan, S. B., Sayre, E. C., Schenk, E., Shepherd, Ch. y Sorell, L. (2016). Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: A 50 k-student study. *American Journal of Physics*, 84(12), 969.

Watts, D. y Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16, 360-365.