



**DÉCIMO SIMPOSIO
DE INVESTIGACIÓN
EN EDUCACIÓN EN FÍSICA**
6, 7 y 8 OCTUBRE 2010 | POSADAS - MISIONES

ENSEÑANZA TRADICIONAL vs ENSEÑANZA PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO. UTILIZACIÓN DE TUTORIALES PARA FÍSICA INTRODUCTORIA EN UN CURSO DE MECÁNICA PARA INGENIERÍA

Godoy, Paulo¹; Benegas, Julio²; Pandiella, Susana³; Pérez de Landazábal, Ma. Carmen⁴; Otero, José⁵

¹IIECE –FFHA y Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Argentina; ²IMASL– Dpto. de Física, Universidad Nacional de San Luis, Argentina; ³IIECE –FFHA, Universidad Nacional de San Juan, Argentina; ⁴⁻⁵Dpto. de Física, Universidad de Alcalá, España

pgodoy@unsj.edu.ar; spandiella@yahoo.com

RESUMEN

Estudios sistemáticos nacionales e internacionales muestran que los conocimientos de ciencias y matemáticas de alumnos que concurren a escuelas primarias y secundarias en los países latino-americanos son sumamente pobres. Se observa además que de los alumnos que consiguen acceder a estudios universitarios, solo una pequeña fracción logra graduarse llegando en casos como la Argentina a que solo una fracción muy baja de los ingresantes, en torno al 10-15%, logra terminar sus estudios de grado. Para contribuir a la solución de este problema, se realizó una experiencia de aplicación en un curso universitario de la estrategia de aprendizaje activo "Tutoriales para Física Introdutoria". Para ello se utilizó un diseño de comparación de grupos preestablecidos, con determinación del conocimiento pre y post instrucción mediante el test Force Concept Inventory. El curso con Tutoriales logró niveles de aprendizaje muy satisfactorios, distribuido en la mayoría de la muestra, obteniendo en promedio, una ganancia intrínseca doble ($g=0.56$) que el curso testigo con enseñanza tradicional ($g=0.27$). Un análisis de correlación lineal muestra que el rendimiento final depende del grupo y conocimiento inicial, con un importante efecto de tamaño de 0,536 ($p<0,001$) para la variable grupo, y más modesto para el conocimiento inicial (factor de tamaño de 0,319, $p=0,001$).

Palabras clave: aprendizaje activo*estudiantes universitarios*Física Introdutoria*enseñanza con tutoriales

ABSTRACT

National and international studies show systematically the low performance of primary and secondary students of Latin American countries concerning the practical knowledge of science and mathematics. Even though just a small fraction of those prospective students are able to access to university studies, only about 10-15%, finished those studies, obtaining an university diploma. To contribute to the study of this important and difficult problem of our universities, in this contribution we report on the application of the active learning teaching "Tutorials for Introductory Physics". A group comparison methodology was used to compare the conceptual learning of force and motion obtained by this methodology and that obtained with the traditional instruction carried out up to now. This conceptual knowledge was measured using the multiple choice test, given to the students before (pre) and after (post) the instruction was implemented. The course where Tutorials was applied obtained satisfactory results with an intrinsic gain ($g=0.56$) that double that obtained by the students in the control group ($g=0.27$). A linear correlation analysis show that the final performance depends on the group variable (methodology) with an important size effect of 0.536 ($p<0.001$) while the incidence of the previous knowledge (pre test) was modest, with a size effect of 0.319, ($p=0.001$).

Keywords: active learning * university physics * Introductory physics * Tutorials.

INTRODUCCIÓN

Evaluaciones nacionales e internacionales como PISA 2003 y PISA 2006 (OECD, 2007) muestran que los conocimientos de ciencias y matemáticas de alumnos que concurren a las escuelas primarias y secundarias en los países latinoamericanos son sumamente pobres, ubicando a países líderes como Brasil, Argentina y México en el grupo de más bajo rendimiento a nivel mundial. Estudios sistemáticos muestran además que de los alumnos que consiguen acceder a estudios universitarios, sólo una pequeña fracción logra graduarse, llegando en casos como la Argentina a que una fracción muy baja de los ingresantes, en torno al 10-15%, logra terminar sus estudios de grado. Esta alarmante situación motivó el estudio diagnóstico del proyecto Iberoamericano "Nuevos enfoques metodológicos y de diagnóstico en los cursos introductorios de ciencias en la universidad" (AECID Proyecto A/9261/07) cuyo relevamiento en cinco universidades de España y América Latina muestra con una impactante similitud (Benegas et al., 2009) que esta deficitaria situación parece agravarse cuando estos estudiantes intentan ingresar a la universidad: alumnos de ciencias e ingeniería tienen un conocimiento operativo de fuerza y movimiento en ejemplos de mecánica y electricidad inferior al 20%, valor de la respuesta al azar. Los datos alertan sobre las dificultades que tendrán estos estudiantes en los cursos introductorios universitarios de Física, donde se supone familiaridad con estos conocimientos básicos (Pérez de Landazábal et al., 2009).

Con estos antecedentes, y como parte de las actividades del citado Proyecto AECID, se decidió realizar una experiencia de aula para la enseñanza de las Leyes de Newton en el primer curso de Física de una institución representativa de universidades latinoamericanas ubicadas en ciudades de mediano tamaño. Consideramos que la enseñanza debe partir del estado inicial de conocimientos del alumno, en este caso dominado por modelos alternativos al newtoniano, logrando su activa participación en el proceso de aprendizaje. El objetivo de este trabajo es comparar los resultados obtenidos con una estrategia de enseñanza de aprendizaje activo, "Tutoriales para Física Introductoria" (McDermott y Shaffer, 2001), con los obtenidos mediante la enseñanza tradicional utilizada hasta el momento.

MARCO TEÓRICO

La complejidad de la actividad educativa se pone de manifiesto en la permanente búsqueda por parte de los profesores de ciencias de nuevos recursos didácticos que produzcan un aprendizaje significativo y activo de los estudiantes. La mayoría de las clases de ciencias utiliza como método principal y fundamental las tradicionales exposiciones argumentadas, donde el estudiante escucha, interpreta y traslada a sus apuntes y notas lo que el profesor ha expuesto. El estudiante debe luego transformar la información en conocimiento y este en sabiduría.

La investigación en enseñanza de las ciencias critica como inapropiada la enseñanza habitual de la Física en los cursos universitarios y sugiere modificaciones en las estrategias de enseñanza para lograr una enseñanza más eficaz y motivadora (Guisasola et al., 2007).

La enseñanza tradicional de la Física (y de otras ciencias) supone esencialmente que el alumno por repetición aprenderá cada uno de los conceptos de la disciplina y formará con ellos la estructura conceptual de la ciencia. La instrucción es generalmente deductiva, con el docente irradiando conocimientos, mientras que el alumno debe recibirlos y asimilarlos, en una actitud esencialmente pasiva (Benegas, 2009).

La clase magistral es la estrategia que predomina en la enseñanza tradicional, posee algunas fortalezas pero también presenta diferentes limitaciones relacionadas principalmente con la pasividad y la poca participación del estudiante. Al respecto, afirma Pozo Muncio (1998), que existen verbos con los cuales puede describirse perfectamente lo que sucede en las clases de ciencias estos son: el *explicar* (lo que hacen los docentes) y el *escuchar* y el *copiar* (lo que hacen los alumnos).

Basada en la experiencia en investigación educativa, desarrollo curricular y enseñanza de la Física, Lilian McDermott (2001) ha sintetizado en seis ítems los problemas de la enseñanza tradicional:

1. La facilidad para resolver problemas cuantitativos estándares no es un criterio adecuado para evaluar el entendimiento práctico.
2. Frecuentemente las conexiones entre conceptos, representaciones formales y el mundo real son inexistentes después de la instrucción tradicional.

3. Ciertas concepciones alternativas no son superadas con una instrucción tradicional. El acceder a niveles más avanzados de instrucción no necesariamente incrementa el nivel de entendimiento de los conceptos básicos.
4. La instrucción tradicional no promueve una estructura conceptual coherente.
5. El incremento en la capacidad de análisis y razonamiento no es el resultado de una instrucción tradicional.
6. Para la mayoría de los estudiantes la enseñanza basada en la exposición de contenidos es un modo ineficiente de instrucción (McDermott, 2001).

McDermott afirma que estos puntos pueden servir como un "*modelo práctico para el desarrollo curricular*" de la Física pero que son extrapolables a otras ciencias experimentales.

En línea con esta descripción de las características de la enseñanza tradicional, McDermott (2001) recapitula los resultados de la investigación en educación en Física en seis generalizaciones que deberían, a su criterio, guiar el proceso de enseñanza:

1. No es un criterio adecuado para la comprensión funcional la facilidad en la solución de problemas de tipo cuantitativo. Preguntas que requieren un razonamiento cualitativo y explicación verbal son esenciales para evaluar el aprendizaje de los estudiantes y son una estrategia efectiva para ayudarlos a aprender.
2. Los estudiantes necesitan una práctica sostenida para interpretar el formalismo físico y relacionarlo con el mundo real. Porque muchas veces las conexiones entre conceptos, las representaciones formales y el mundo real son olvidadas después de la instrucción.
3. Algunas dificultades conceptuales persistentes deben ser explícitamente abordadas en múltiples contextos porque no son superadas por la enseñanza tradicional ni por los estudios avanzados.
4. Los estudiantes deben participar en el proceso de construcción de modelos cualitativos y en la aplicación de estos modelos para predecir y explicar los fenómenos del mundo real.
5. Las habilidades del razonamiento científico deben estar expresamente cultivadas.
6. Los estudiantes deben estar intelectualmente activos en el proceso de aprendizaje para desarrollar una comprensión funcional (McDermott, 2001).

Es claro entonces que el proceso de aprendizaje es personal, complejo y demanda un estudiante activo. Para ello, es necesario desarrollar estrategias de enseñanza que lo involucren en la participación activa de su propio proceso de formación. En palabras de Pozo y Gómez Crespo las instituciones educativas y los docentes de ciencias, en particular, deben ayudar a los alumnos no sólo a "...aprender y hacer ciencia sino a comprender lo que están haciendo y aprendiendo..." (Pozo y Gómez Crespo, 1998, pág. 52).

Independientemente de la opción didáctica que se adopte en la tarea de enseñar ciencias, se debe tener en cuenta que la investigación en concepciones alternativas se ha constituido a partir de los años ochenta en un "núcleo duro" de la didáctica en ciencias (Furió Más, 1996) y que el alumno desempeña un papel protagónico en el proceso de aprendizaje. Este proceso implica que el alumno asuma un rol activo en la construcción de significados a partir de sus ideas previas lo que le permitirá, entre otras cosas, explicar situaciones de la vida diaria utilizando los conceptos acordados por la comunidad científica actual.

En el campo de la Física innumerables trabajos de investigación han realizado estudios de concepciones alternativas y de dificultades características en la mayoría de los temas importantes de esa ciencia (McDermott y Redish, 1999). Quizás el aspecto más preocupante de las ideas previas no sea su existencia, sino su persistencia. Por ello, uno de los temas centrales de discusión se basa en determinar cuáles estrategias constructivistas ayudan mejor al alumno en el proceso de adquisición del conocimiento académico (Carretero, 1998).

Para superar los problemas de la enseñanza tradicional descritos más arriba, surgen como alternativa los métodos de enseñanza para el aprendizaje activo que ponen énfasis en el rol que el alumno debe tener en el proceso de construcción de su propio conocimiento. Las metodologías de aprendizaje activo están basadas en los resultados de años de investigación educativa en Física y han demostrado producir un mejoramiento mensurable en la comprensión conceptual de ella (Thornton y Sokoloff 1990; Laws, 1991). También propician que los estudiantes se involucren activamente en las clases, participen en actividades relacionadas con los temas expuestos,

aumenten su motivación, desarrollen su capacidad de análisis, de síntesis y de evaluación, a través de los debates o discusiones surgidos a lo largo del desarrollo de la actividad o trabajo propuesto. Para facilitar estos procesos el docente que enseña con estrategias de aprendizaje activo debe fundamentalmente quitar énfasis a la transmisión de la información para esforzarse en explorar las habilidades, aptitudes y valores de los estudiantes. Es por ello que recibe generalmente el nombre de "facilitador", enfatizando su rol de guía en el proceso de aprendizaje y no el de trasmisor de la información. En general las estrategias de aprendizaje activo reproducen el proceso científico en el aula y ayudan al desarrollo de las capacidades de razonamiento (Benegas, 2007).

En el Cuadro 1 se comparan algunas características del aprendizaje activo con las de la enseñanza tradicional.

Aprendizaje Pasivo	Aprendizaje Activo
Docente y libro son las autoridades y fuentes del conocimiento.	Los estudiantes construyen su conocimiento realizando actividades. La observación del mundo real es la autoridad y fuente de conocimiento.
Las creencias estudiantiles no son explícitamente desafiadas.	Utiliza un ciclo de aprendizaje que desafía a los estudiantes a comparar sus predicciones (basadas en sus creencias) con el resultado de experimentos.
Los estudiantes no se dan cuenta de las diferencias entre sus creencias y lo que dice en clase el profesor.	Estudiantes cambian sus creencias cuando ven las diferencias entre ellas y sus propias observaciones.
El profesor es la autoridad.	El profesor es una guía del proceso de aprendizaje.
El profesor desalienta la colaboración entre alumnos.	El profesor estimula la colaboración entre estudiantes.
En las clases se presentan "hechos" de la Física, con poca referencia a experimentos.	Se observan en forma comprensible los resultados de experimentos reales.
El laboratorio se usa para confirmar lo "aprendido".	El laboratorio se usa para aprender conceptos.

Cuadro 1: Características del Aprendizaje Pasivo vs Aprendizaje Activo (Benegas, 2009).

El concepto de "aprendizaje activo" es destacado como una herramienta esencial para la innovación educativa, en las diversas etapas de la enseñanza e incluye diversos métodos como aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje cooperativo, práctica en el laboratorio, tutorías, y discusión de casos prácticos, entre otros, así como el empleo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

En esta línea de trabajo, y entre las distintas estrategias de aprendizaje surgidas de los grupos de investigación educativa y desarrollo curricular, se destacan los "Tutoriales para Física Introductoria" (McDermott y Shaffer, 2001, de aquí en más "Tutoriales"). Esta propuesta ha sido desarrollada por la Dra. Lillian McDermott y su Physics Education Group en la Universidad de Washington en Seattle, USA. La metodología, una de las pocas que hasta el momento ha sido traducida al español, está basada en un extenso trabajo desarrollado en las últimas tres décadas sobre las dificultades características de aprendizaje de los diversos temas de la Física general (McDermott, 1993) y el consecuente desarrollo de actividades de aprendizaje tendientes a su superación.

Los Tutoriales están diseñados para desarrollar la comprensión conceptual de los temas de Física básica, así como el razonamiento cualitativo y utilizan como estrategia de aprendizaje el conflicto cognitivo, tendiendo puentes entre lo que el alumno cree o sabe y el conocimiento científico que se quiere incorporar. La estrategia ha sido descrita por McDermott como de obtener información/confrontarla con lo que se cree/resolver discrepancias (elicit/confront/resolve).

METODOLOGÍA

La intervención didáctica llevada a cabo en este trabajo tiene como requisito que la enseñanza parta del estado inicial de conocimientos del alumno, en este caso dominado por modelos alternativos al newtoniano, logrando además su activa participación en el proceso de aprendizaje. Para determinar la eficiencia de la estrategia de enseñanza "Tutoriales para Física Introductoria" en

comparación con la enseñanza tradicional llevada a cabo hasta el presente se recurrió a una comparación de grupos, (que llamaremos experimental y control), con determinación del conocimiento conceptual mediante la prueba de preguntas de opción múltiple Force Concept Inventory (FCI, Hestenes et al, 1992), que fue aplicada antes y después de la instrucción. El FCI consta de 30 preguntas sobre las leyes de Newton, es decir la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y su estado de movimiento, incorporando en sus distractores los resultados de los estudios de dificultades características y concepciones alternativas sobre fuerza y movimiento. Por ello, un análisis detallado de las respuestas en el pretest permite una "radiografía" del estado de conocimientos de cada muestra al comienzo de la instrucción. La aplicación pre/post test permite a su vez el estudio comparativo de la evolución de los modelos estudiantiles sobre fuerza y movimiento, identificando logros y problemas no resueltos en cada aproximación didáctica.

La experiencia se realizó en la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, por su mediano tamaño, pertenecer a una región alejada de los grandes centros urbanos y porque tiene en sus programas de ingeniería cursos de Física I que se desarrollan en paralelo, en similares condiciones de recursos humanos y materiales. Se tuvo especial cuidado en que objetivos, tiempos, condiciones de infraestructura, contenidos, evaluación y equipo docente de ambos cursos fueran equivalentes. Los contenidos del curso son: Cinemática y Dinámica de la partícula; Trabajo y Energía; Cantidad de Movimiento Lineal, Impulso y Colisiones; Cinemática y Dinámica del cuerpo rígido y Oscilaciones y Ondas, siendo requisito para cursar esta materia haber realizado la asignatura Cálculo I (cálculo en una variable). Física I se desarrolla en sesiones teórico-prácticas con exposición de contenidos, ejemplificación y discusión, problemas individuales y grupales y laboratorio. La evaluación consta de tres exámenes parciales y una evaluación integrativa final, cada uno con preguntas y problemas. Los contenidos, maneras y tiempos de evaluación son acordados previamente por todas las cátedras que funcionan en paralelo y coordinadas para minimizar diferencias entre el curso control y el experimental. El curso control continuó con esta estrategia clásica, mientras que en el experimental algunas actividades de explicación teórica y de ejercitación de problemas a cargo del profesor fueron reemplazadas por Tutoriales. Tutoriales es una estrategia que se adapta a diversas implementaciones didácticas, complementando o reemplazando a la clase expositiva tradicional. En la presente experiencia se utilizaron en sustitución de algunas actividades de explicación teórica y de resolución de problemas. Cada Tutorial consiste de tres unidades de trabajo: un Pre test de Tutorial (tomado antes del desarrollo del Tutorial), el Tutorial propiamente dicho y los Ejercicios Complementarios. Las actividades que proponen han sido desarrolladas a partir de estudios de dificultades características de aprendizaje y sujetas a pormenorizadas pruebas de rendimiento (McDermott, 2001). En las clases con Tutoriales se utilizan ciclos de aprendizaje que incluyen predicciones, discusiones en pequeños grupos, observación del resultado experimental y la comparación de los mismos con las predicciones. Este ciclo de aprendizaje puede ser representado como *PODS*—Predicción, Observación, Discusión y Síntesis. De esta forma se ayuda al estudiante a tomar conciencia de las diferencias entre las creencias con que llega a la clase de Física y las leyes físicas que gobiernan el mundo real. En esta experiencia se trataron sólo los temas de Cinemática y Dinámica de la partícula, incluidos en los Tutoriales: "Representaciones de movimiento", "Aceleración en una dimensión", "Fuerzas", "2da. y 3ra. Leyes de Newton" y "Tensión". Sólo el primer Tutorial es una actividad de laboratorio, que implica el uso de detectores de movimiento y representación gráfica por computadora. Los restantes Tutoriales son esencialmente actividades de lápiz y papel. La muestra experimental estuvo constituida por 79 estudiantes de Ingeniería Electrónica (ELO) y el grupo control por 57 alumnos de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos.

RESULTADOS

Las bases científicas utilizadas para construir el FCI y su aplicación pre y post instrucción permite un análisis detallado tanto de la evolución de conocimiento de la muestra estudiantil, como de la comparación de logros de una y otra estrategia de aprendizaje. En la Figura 1 se ha graficado el rendimiento medio (porcentaje de aciertos) por pregunta de la muestra experimental antes y después de la instrucción. La gráfica contiene esta información para las 30 preguntas del FCI, como también el rendimiento medio en todo el test de la muestra total, graficado como ítem 31, es decir las dos últimas barras a la derecha de la figura. Se han tenido en cuenta solo los alumnos que tomaron ambas pruebas, eliminándose del Pre test esencialmente los alumnos que abandonaron el curso en el período entre ambas pruebas quedando constituidos los grupos por 54 alumnos en el grupo experimental y 24 en el grupo control. Se puede observar que, en promedio antes de la instrucción este curso obtuvo 26,4%, es decir apenas superó el rendimiento al azar (20% en este

test de 5 opciones por pregunta), mientras que luego de la instrucción este rendimiento medio global superó el 67%. Estos datos nos permiten calcular la ganancia intrínseca lograda (Hake 1998), definida como: $g = (\langle \text{Post} \rangle - \langle \text{Pre} \rangle) / (100 - \langle \text{Pre} \rangle)$, donde $\langle \text{Post}(\text{Pre}) \rangle$ indica el valor medio de todo el curso luego (antes) de la instrucción. La ganancia intrínseca significa la fracción de la ganancia posible obtenida por la instrucción. Es una medida intensiva de la ganancia y un parámetro sumamente adecuado para la comparación de distintas poblaciones, pues se refiere a la evolución lograda por la instrucción, independientemente del estado inicial de conocimientos. Para esta muestra la ganancia intrínseca fue de $g = 0,56$, como se observa en la Figura 1.

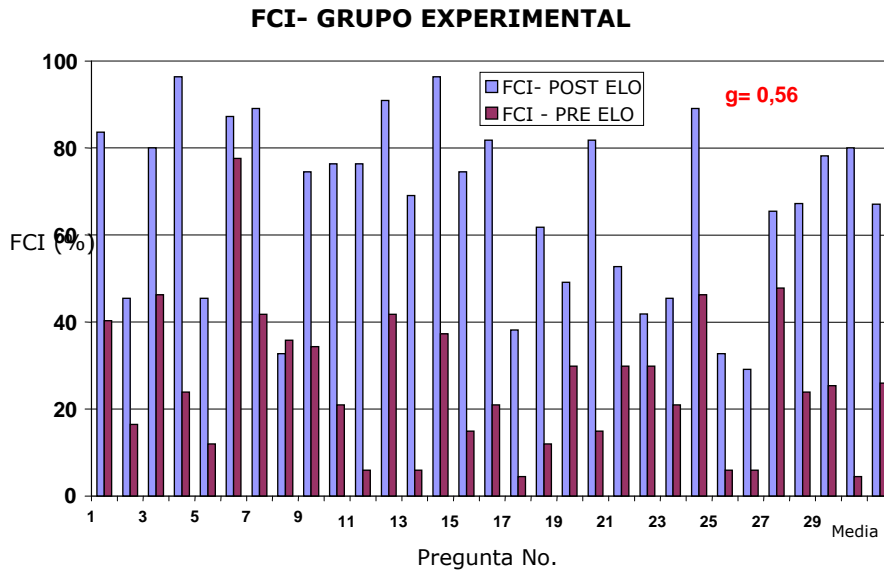


Figura 1: Rendimiento pre (barras oscuras) y post (barras claras) instrucción del curso experimental en las 30 preguntas del test FCI. Las dos últimas barras a la derecha indican el rendimiento medio de toda la muestra en las 30 preguntas del FCI. Se indica también la ganancia intrínseca g .

En la Figura 2 se representan los mismos datos, pero para la muestra de control. Se aprecia que, en general el rendimiento post instrucción en casi todos los ítems es menor que en la muestra experimental. El rendimiento medio de todo el curso luego de la instrucción fue de sólo 45,4%, mientras que el valor previo a la instrucción fue del 24%, muy similar al de la muestra experimental. Con estos datos se obtiene una ganancia intrínseca $g = 0,27$, es decir alrededor de la mitad de lo logrado en la muestra experimental. En un estudio comparativo muy amplio Hake (1998) determinó que ganancias intrínsecas inferiores a 0,30, que él estimó como bajas, eran características de cursos con instrucción de tipo tradicional, mientras que aquellos cursos que practicaban algún tipo de aprendizaje activo mostraban mejores ganancias, determinando en estos casos un valor medio de 0,48. Hestenes y colaboradores (1992) al desarrollar y validar el FCI concluyeron que el umbral del conocimiento newtoniano se produce con un rendimiento promedio del 60%, mientras que para un dominio pleno del marco newtoniano, que permita una eficaz capacidad de resolución de problemas, se necesita al menos un rendimiento global del 80%. Adaptando este criterio al rendimiento por ítem, observamos que en la muestra experimental en 11 ítems se logra un rendimiento igual o superior al 80%, mientras que en la muestra de control este rendimiento se logra solamente para 5 ítems: 1, 3, 4, 12 y 29.

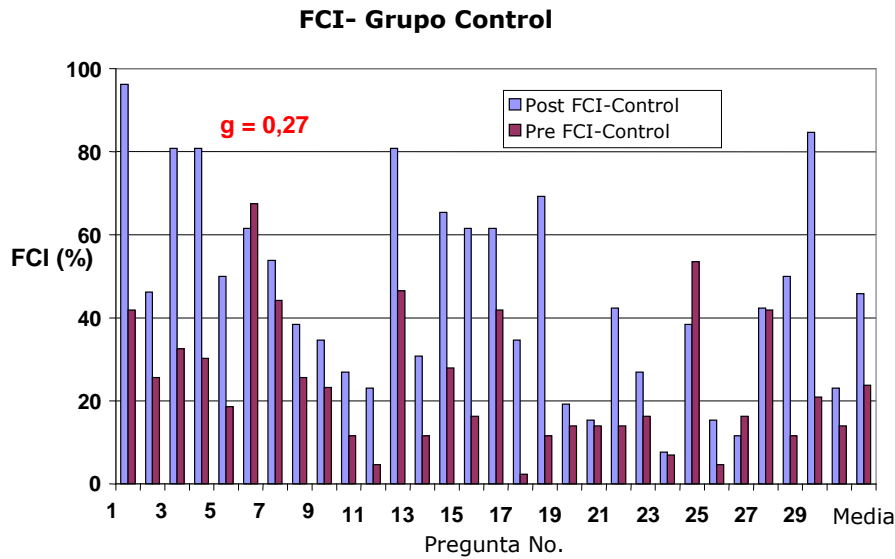


Figura 2: Rendimiento pre (barras oscuras) y post (barras claras) instrucción del curso de control en las 30 preguntas del test FCI. Las dos últimas barras a la derecha indican el rendimiento medio de toda la muestra en las 30 preguntas del FCI. Se indica también la ganancia intrínseca g .

La cuidadosa selección de distractores del FCI y su base en resultados de la investigación educativa de las dificultades de aprendizaje características de fuerza y movimiento permite realizar una descripción de la cantidad y características de los modelos mentales con que los estudiantes responden las diversas preguntas. Bao y Redish (2002) han desarrollado una técnica estadística, el factor de concentración, que utilizado en consonancia con el rendimiento, permite graficar los 30 items del FCI en un ilustrativo diagrama de Concentración vs Rendimiento. Esencialmente la concentración mide cuan concentradas en una dada opción están las respuestas estudiantiles. El índice de concentración varía entre 0, concentración nula, cuando todas las opciones son igualmente favorecidas, hasta un valor de 1, en el caso en que todos los estudiantes elijan la misma opción, es decir concentración total en esa opción. La Figura 3 presenta los resultados de las 30 preguntas del FCI para la muestra experimental, antes y después de la instrucción. Se observa que en el post test prácticamente todas las preguntas se han desplazado hacia valores de mayor rendimiento y mayor concentración, es decir en todos los ítems el desempeño de este curso se movió hacia la opción correcta en cada pregunta, hacia el modelo físicamente correcto. En la gráfica esta situación está representada por los puntos metiéndose en el "embudo" de valores permitidos que lleva al extremo superior derecho, es decir hacia la situación ideal de tener todos los alumnos optando por la opción correcta, rendimiento óptimo y total concentración en la opción correcta. Se observa que los puntos que representan la situación al comienzo de la instrucción están dispersos en la zona de bajo rendimiento (casi todos por debajo de 0,40) y con baja concentración. Es decir los estudiantes eligen en general distintos distractores. La investigación educativa en Física ha documentado que esta situación es característica de poblaciones sin el modelo físico incorporado. Es decir los estudiantes eligen diferentes modelos alternativos, que cambian generalmente ante situaciones o contextos diferentes. La Figura 4 muestra que esta situación inicial es similar en la muestra de control, evidenciando que ambas poblaciones tienen antes de la instrucción un dominio del marco conceptual newtoniano muy similar, esencialmente nulo. Luego de la instrucción el curso control mejoró ligeramente su rendimiento, pero permaneciendo en una zona de concentración y rendimiento intermedios, donde hay dos modelos preponderantes, el físico y otro incorrecto o alternativo. Las flechas en ambas figuras denotan la evolución pre-post test provocada por la instrucción en cada caso, notándose que la muestra experimental está en el umbral de superior derecha, de óptimos resultados, que según Bao y Redish corresponden a rendimientos mayores al 70% y concentraciones mayores a 0,5.

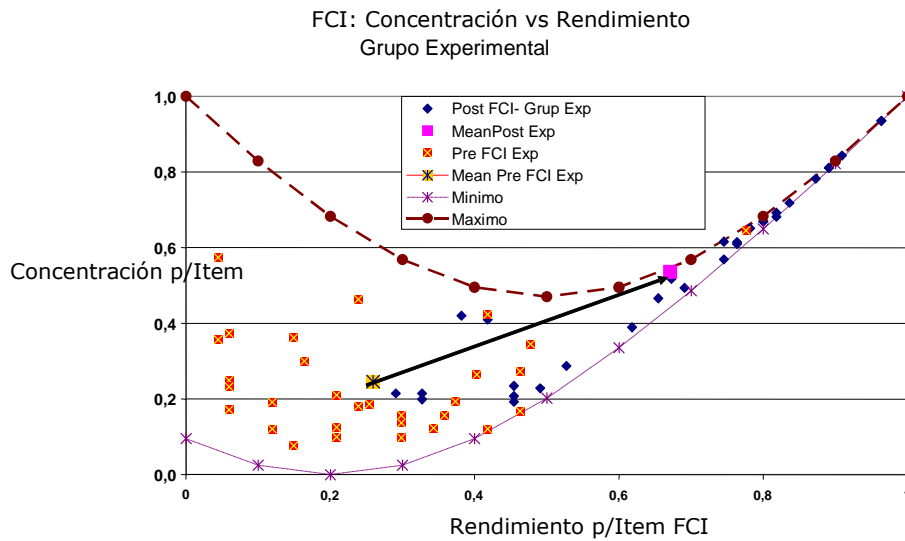


Figura 3: Gráfica de concentración vs rendimiento para las 30 preguntas del FCI respondidas por la muestra experimental. Rombos: post test, cruces: pretest. En cada caso el signo más grande se refiere a la media aritmética de todos los ítems, para todo el curso. La flecha es solo para graficar la evolución del curso desde el pre al post test.

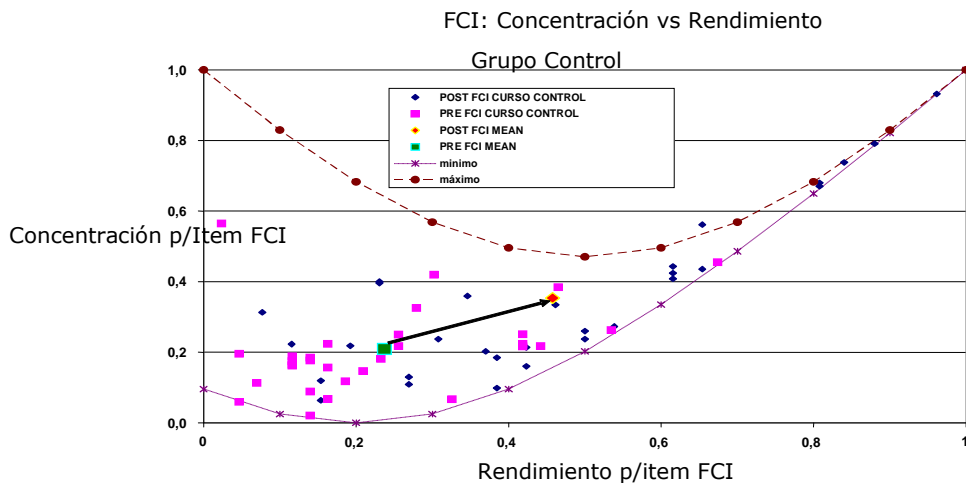


Figura 4: Gráfica de concentración vs rendimiento para las 30 preguntas del FCI respondidas por la muestra experimental. Rombos: Post test, cruces: pretest. En cada caso el signo más grande se refiere a la media aritmética de todos los ítems, para todo el curso. La flecha es solo para graficar la evolución del curso desde el pre al post test.

Con el fin de estudiar el efecto de la instrucción sobre cada alumno en particular, en las Figuras 5 y 6 se ha representado el rendimiento pre y post instrucción por alumno en las muestras experimental y control, respectivamente.

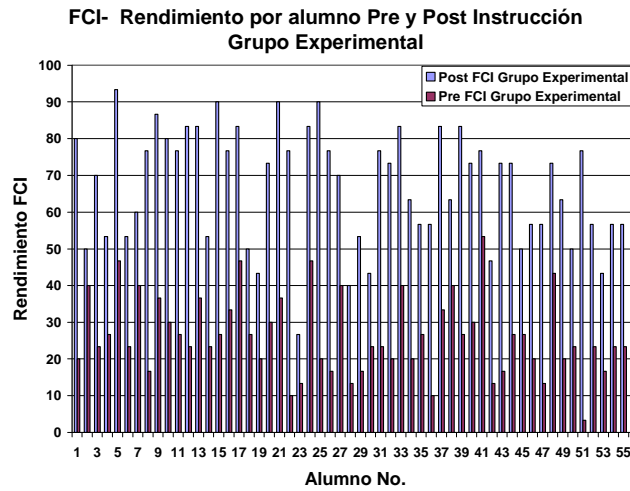


Figura 5: Rendimiento pre y post instrucción en el FCI, para cada alumno de la muestra experimental. Las dos últimas barras a la derecha indican la media de todo el curso.

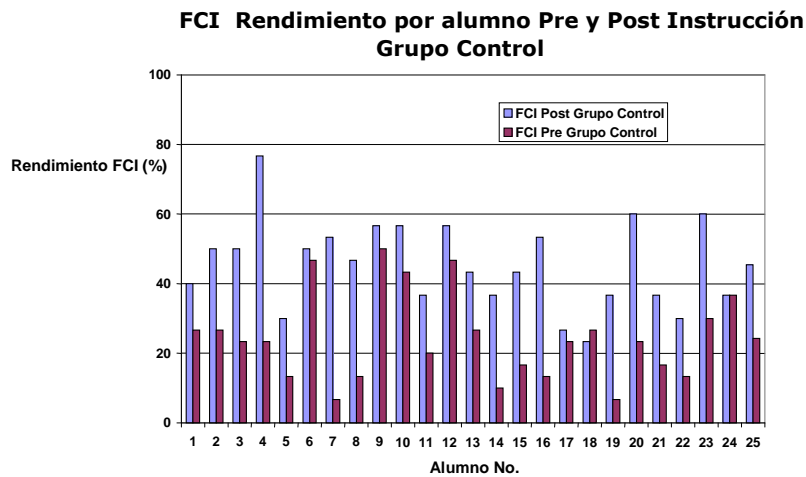


Figura 6: Rendimiento pre y post instrucción en el FCI, para cada alumno de la muestra de control. Las dos últimas barras a la derecha indican la media de todo el curso

Se aprecia de manera notable en la Figura 5 como en el grupo experimental el mejoramiento y los aprendizajes están distribuidos en casi todo el grupo, con una mayoría de los estudiantes con puntajes superiores al 70%. La Figura 6 muestra que, en contraposición, solo tres estudiantes logran llegar o pasar, luego de la instrucción, el umbral del 60% de rendimiento aludido anteriormente. Para reafirmar este punto de central importancia en toda instrucción, en la Figura 7 se presenta la distribución de estudiantes por cuartil de rendimiento. Se observa claramente la enorme diferencia entre las dos poblaciones, con la mayoría de los estudiantes del grupo control en los cuartiles de más bajo rendimiento, mientras que en el grupo experimental hay una mayoría en los dos grupos de mayor rendimiento.

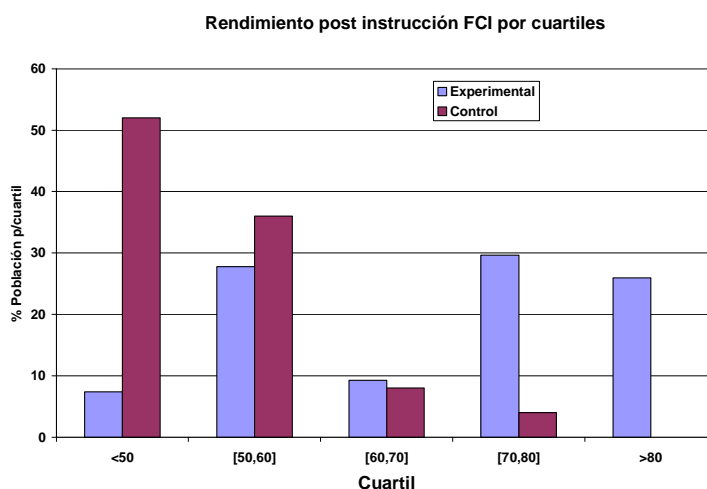


Figura 7: Agrupamiento (en %) de los estudiantes de los grupos control y experimental por cuartil de rendimiento en la prueba FCI luego de la instrucción.

CONCLUSIONES

Se ha realizado una experiencia de comparación de grupos intactos para determinar la efectividad de dos estrategias para la enseñanza de Cinemática y Dinámica de la partícula en alumnos de primer año de ingeniería. Se tomaron grupos equivalentes, establecidos previamente según las normas de la institución, determinándose el conocimiento conceptual de fuerza y movimiento mediante el test FCI, aplicado antes y después de la instrucción. El primer resultado es que en los dos grupos el conocimiento inicial es estadísticamente equivalente y muy bajo, apenas superior a la respuesta al azar. El rendimiento post instrucción del grupo control es relativamente bajo, lejos todavía en media del umbral del conocimiento newtoniano (60%) que Hestenes et al. (1992) consideran necesario para resolver problemas adecuadamente. El análisis de concentración indica que las respuestas post instrucción del curso control están todavía dominadas por modelos no-newtonianos, mientras que el grupo experimental se sitúa en el umbral de la zona de alta concentración en la respuesta correcta. Un estudio de correlación lineal (SPSS, 1999), que propone el conocimiento post instrucción como variable dependiente y el conocimiento inicial y grupo de instrucción como independientes, indica que, descontadas las diferencias de los pretest, el modelo es bueno (R cuadrado ajustado = 0,403), con la variable Grupo como la de mejor capacidad de predicción, ya que denota una diferencia entre grupos de $20,5 \pm 3,3$; con un importante efecto de tamaño de 0,536 ($p < 0,001$). La influencia del conocimiento inicial es más modesta con un efecto del tamaño de solo 0,319 a $p = 0,001$. Teniendo en cuenta además que la ganancia intrínseca del curso experimental fue doble que la del tradicional, y que la mejora en el conocimiento se distribuyó en casi toda la muestra, los resultados aquí reportados sugieren fuertemente que la instrucción mediante Tutoriales es claramente más eficiente que la tradicional en producir aprendizajes conceptuales en temas de fuerza y movimiento.

Respecto de futuras aplicaciones es importante señalar que las principales falencias post instrucción de los alumnos de la muestra experimental se refieren principalmente a temas de movimiento bidimensional (no tratado en los Tutoriales utilizados) y a ejemplos de movimientos vertical y horizontal donde los alumnos evidencian no haber superado la concepción alternativa de ímpetus (Godoy et al. 2009). Estas dificultades ya han sido apuntadas como muy resistentes al mejoramiento. McDermott (2001), por ejemplo, recomienda abordarlas sistemáticamente, con diferentes aplicaciones y contextos a lo largo de todo el curso.

En lo referente a recursos humanos y materiales para su implementación didáctica, es destacable que Tutoriales solo requiere un adecuado entrenamiento del/los docentes y una relación de alrededor de 20 alumnos por docente, similar a lo recomendado para las sesiones de laboratorio y problemas. Estos resultados y estas condiciones relativamente simples de conseguir, sugieren fuertemente que la instrucción mediante Tutoriales es claramente más eficiente y que debería ser tomada en cuenta en nuestros sistemas educativos como una eficaz alternativa en la búsqueda de la tan ansiada reforma educativa en la física, tanto en el secundario superior (Sirur Flores y Benegas, 2008) como en los primeros cursos universitarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Bao, L. y Redish, E. F. (2004). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states, *Am. J. Phys.* 69.
- Benegas, J. (2007). Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol.1, No. 1*, 38 <http://www.journal.lapen.org.mx>
- Benegas, J. (2009). Aprendizaje Activo de la Física. Manual de Entrenamiento. San Luis: Universidad Nacional de San Luis.
- Benegas, J; Villegas, M; Pérez de Landazábal, M.; Otero, J. (2009). Conocimiento conceptual de física básica en ingresantes a carreras de ciencias e ingeniería en cinco universidades de España, Argentina y Chile. *Revista Iberoamericana de Física*, 35(1), p.35.
- Carretero, M., (1998). Constructivismo 'mon amour' en Baquero, R. et al. *Debates constructivistas*. Buenos Aires: Aique.
- Furió Mas, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique. Enseñanza de las Ciencias Experimentales*, n.º 7.
- Godoy, P; Pandiella, S.; Pérez de Landazábal, M. C.; Otero, J. y Benegas J. (2009). Aprendizaje activo de las leyes de Newton en cursos de ingeniería: una experiencia utilizando tutoriales para Física introductoria. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, pp. 839-841, VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias.
- Guisasola, J; Zubimendi, J. L.; Almudí, J. M. y Ceberio, M. (2007). Propuesta de enseñanza en cursos introductorios de física en la universidad, basada en la investigación didáctica: siete años de experiencia y resultados. *Enseñanza de las Ciencias* 25(1), 91-106.
- Hake, R. (1998). Interactive engagement vs. traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics. *Am. J. Phys.* 66(1), pp.64-74.
- Hestenes, D.; Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30, pp. 141-58.
- Laws, P. W. (1991). Calculus-based physics without lectures. *Physics Today* 44:12, 24-31.
- McDermott L. C.; Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education Research., *Am. J. Phys.* 67(9) 755-767
- McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture: Physics education research: The key to student learning, *Am. J. Phys.* 69, 1127-1137
- McDermott, L. C.; Shaffer, P. S. (2001). *Tutoriales en Física Introductoria*. Buenos Aires: Prentice Hall.
- McDermott, L.C. (1993). Guest comment: How we teach and how students learn: A mismatch, *Am. J. of Phys.* 61, 295-298 (1993). En español en McDermott, L. C., Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste?, (Primera parte). *Revista de Enseñanza de la Física* 6, 19-32 (1993).
- McDermott, L.C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: Physics education research: The key to student learning, *Am. J. Phys* 69, pp.1127-1137.
- OECD – PISA (2007) (Programme For International Student Assessment). Informe PISA 2007 <http://www.oecd.org/dataoecd/15/13/39725224.pdf>.
- Pérez de Landazábal, Ma. C.; Otero, J. y Benegas, J. (2009). Conocimientos y destrezas iniciales de los alumnos que acceden a cursos introductorios de Física en 6 universidades iberoamericanas: cambio a lo largo del primer curso e incidencia en el éxito académico *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, p. 2335-2342, VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias.
- Pozo Muncio, J.I. (1998). *Aprendices y maestros*. Madrid: Alianza.
- Pozo, J. I y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid. España: Editorial Morata.

Sirur Flores J.; Benegas J. (2008). Aprendizaje de circuitos eléctricos en el Nivel Polimodal: resultados de distintas aproximaciones didácticas, *Enseñanza de las Ciencias*, 26, (2). p.245.

SPSS (1999). Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc. Chicago, IL. USA.

Thornton, R. K.; Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using real-time, microcomputer-based laboratory tools. *Am. J. Phys* 58, pp. 858-867.