

Estudio de casos: conocimientos físicos de los estudiantes cuando terminan la escuela secundaria: una advertencia y algunas alternativas

J. Benegas

*Departamento de Física, Instituto de Matemática Aplicada San Luis,
Universidad Nacional de San Luis, Argentina,
e-mail: jbenegas@unsl.edu.ar*

M. Perez de Landazábal

*Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Departamento de Física,
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid, España.*

J. Otero

*Departamento de Física,
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid, España.*

Recibido el 24 de marzo de 2008; aceptado el 5 de mayo de 2010

Los profesores de física universitaria consideran usualmente que el conocimiento inicial de algunos temas básicos de matemáticas y de física es un prerrequisito para lograr un aprendizaje exitoso. Este trabajo describe el conocimiento conceptual que sobre algunos temas centrales de física básica poseen los alumnos que ingresan en la carrera de Biología de la Universidad de Alcalá, España. Para tal efecto se ha construido un *test* de 13 preguntas de respuestas de opción múltiple, 8 de física y 5 de matemáticas, sobre temas del currículo normal de la escuela secundaria, y relevantes para la enseñanza de la física universitaria. Se constata que esta muestra mantiene fuertemente arraigados, aún después de la instrucción secundaria, los modelos alternativos, no científicos, más comunes. Se realiza una comparación con el aprendizaje obtenido en cursos de escuelas secundarias donde se utilizaron estrategias de enseñanza que favorecen el aprendizaje activo de la física. Se observa una diferencia sustancial en el aprendizaje, a favor de las metodologías de aprendizaje activo, las cuales muestran ser muy apropiadas para una reforma educativa exitosa. Se argumenta finalmente que este estudio puede considerarse complementario, en el campo de la física y con las restricciones de su limitada extensión, de los resultados recientemente publicados de la encuesta PISA 2006.

Descriptor: Conocimiento conceptual; física; concepciones alternativas; física secundaria; evaluación; aprendizaje activo.

Initial knowledge of mathematics and physics is usually regarded by university physics instructors as a prerequisite for successful estudiante learning. This article describes incoming university estudiantes' understanding of some basic laws of physics at the Universidad de Alcalá, Spain. A 13-item single response multiple choice test has been constructed and used to measure the conceptual knowledge of physics topics normally included in high school physics. It also contains 5 items on mathematics subjects thought to be of relevance for physics instruction. The results show that these student's sample still hold, after high school instruction, major misconceptions of the tested topics. A comparison is made between this measured understanding and the conceptual knowledge acquired by high school estudiantes enrolled in classes that followed active learning methods. The significant differences in learning gains between traditional and active learning instruction strongly indicate that traditional approaches to teaching physics in high schools should be replaced by field-tested, active learning methodologies. It is argue that this study can be considered, in the field of physics, complementary and reaffirmatory of the recently released results of the PISA 2006 survey.

Keywords: Conceptual knowledge; physics misconceptions; high school physics; evaluation; active learning.

PACS: 01.40.-d

1. Introducción

La mayoría de los profesores universitarios de física considera que el conocimiento funcional de ciertos conceptos matemáticos y físicos es un prerrequisito para que el estudiante tenga éxito en los cursos introductorios de física. Ésta es una de las condiciones generalmente no explicitadas en una programación didáctica y que forman parte de lo que Meltzer [1] llama el "currículo oculto", que incluye, además de estos conocimientos matemáticos y físicos previos, la capacidad de razonamiento, la motivación, la situación socio-económica y otros factores que condicionan los resultados del proceso de enseñanza-aprendizaje. La influencia de estos factores previos o extra-escolares sobre el aprendizaje se ha investigado

tanto en alumnos de ciencias e ingeniería [1], como en los alumnos de otras disciplinas, que siguen cursos de física "de servicio" basados en álgebra [2].

Desde hace tiempo se sabe que el conocimiento conceptual de la física se encuentra constantemente en conflicto con ideas alternativas procedentes de nuestras experiencias cotidianas. Hace tres décadas Ausubel [3] señaló que el factor más influyente en el aprendizaje es lo que el estudiante ya conoce y, por ello, propuso a los formadores: "comprueba lo que (el estudiante) sabe y enseña conforme a ello". Siguiendo esta sugerencia, la investigación en didáctica de las ciencias ha mostrado que los estudiantes llevan al aula muchas ideas sobre temas científicos que provienen del sentido común y

que se contraponen al modelo científico aceptado por la disciplina. Estas ideas alternativas, que han sido elaboradas a partir de la interacción diaria con el mundo físico, resultan resistentes al cambio mediante instrucción formal. Esta resistencia, documentada especialmente en los niveles educativos básico e intermedio, también se hace evidente en las dificultades de aprendizaje en ciencias de los estudiantes que llegan al nivel universitario. Dificultades de aprendizaje conceptual que se encuentran, incluso, en estudiantes graduados y postgraduados. McDermott y Redish [4] reseñan una bibliografía muy completa de estudios sobre las dificultades de aprendizaje en el área de la física en el nivel universitario.

En esta línea, el objetivo de nuestro proyecto es determinar la situación inicial del conocimiento conceptual de algunos temas básicos de física, y de las matemáticas correspondientes, de los estudiantes que ingresan en la universidad en España y algunas naciones latinoamericanas (Argentina, Chile, Cuba y México), con la esperanza de que estos datos puedan utilizarse para la mejora de la educación científica y tecnológica en nuestros países. En la primera etapa se ha diseñado y utilizado un *test* diagnóstico para medir el conocimiento conceptual de los estudiantes que ingresan en la Universidad de Alcalá, España, considerando algunos temas centrales del currículo estándar de física en la escuela secundaria de la mayoría de los sistemas educativos. Se puede anticipar que la situación inicial del conocimiento de esta muestra de estudiantes es pobre, comparable con una ausencia de instrucción previa en física. En la segunda parte del artículo se muestra que, de acuerdo a aplicaciones piloto realizadas en escuelas secundarias argentinas, esta situación poco satisfactoria puede modificarse si la instrucción tradicional se substituye por métodos de aprendizaje activo de la física. Aunque este trabajo no proporciona una evidencia definitiva de las ventajas de estos métodos de aprendizaje activo, lo cual requeriría una experimentación controlada y más amplia, suministra pistas importantes sobre cómo atacar los preocupantes resultados de la enseñanza tradicional de la física que se describen en la primera parte del artículo. La sección final incluye algunas sugerencias de mejora basadas en los resultados que se han discutido.

2. Metodología

2.1. Muestra

El *test* de diagnóstico conceptual fue administrado a una muestra de 81 estudiantes que iniciaba sus estudios de Biología en la Universidad de Alcalá, España. Los estudiantes proceden de diferentes centros de educación secundaria de España. La puntuación media obtenida por dichos alumnos en la prueba de acceso a la universidad había sido de 6.18 puntos sobre un máximo de 10, de modo que puede pensarse que representan una media de la población escolar de la escuela secundaria española. Sin embargo, en lo que respecta a su formación en física, se sitúan en un nivel relativamente bajo entre los que acceden a la universidad. Un treinta por ciento

de los estudiantes son varones y la edad media de la muestra es de 18.2 años. Los alumnos han recibido formación previa en física durante el nivel secundario. Todos ellos han seguido el curso obligatorio de física y química en 9° grado (año de instrucción) y un curso optativo en 10° grado. Un 82 % de la muestra reconoce haber cursado la “física y química” en 11° grado e, incluso, un 13 % de la muestra ha seguido el curso de física en 12° grado, último año de la escuela secundaria y único en que se estudia separadamente la física en España. Por lo tanto, puede asumirse que esta muestra de alumnos ha experimentado una formación básica razonable en física.

2.2. Instrumento de medición

El *test* diagnóstico se basa en la amplia investigación existente sobre ideas alternativas al marco newtoniano y sobre las dificultades de aprendizaje características en los diferentes temas de la física básica. La investigación educativa también ha documentado que las respuestas de los alumnos a preguntas cualitativas se distribuyen normalmente en un número pequeño de tipos diferentes [5]. Cada una de estas respuestas (o tipo de respuestas) puede relacionarse con un modelo particular utilizado por los estudiantes para describir el mundo físico. Estas respuestas cognitivas dependen fuertemente del contexto y pueden corresponder a un modelo mental basado en leyes físicas aceptadas científicamente (el modelo físico), o a modelos mentales alternativos, ingenuos o de sentido común. En consecuencia, las respuestas de un mismo sujeto a diferentes cuestiones sobre el mismo tema pueden resultar no coherentes, en el sentido de no reflejar el mismo modelo, a no ser que el estudiante mantenga una estructura conceptual científica muy fuerte – el sueño dorado del profesor. Para poner de manifiesto estos modelos, las diferentes preguntas deben contener, como distractores, una taxonomía bastante completa de las dificultades de los estudiantes. Un análisis apropiado de las respuestas de los alumnos, que incluya la distribución de las diferentes opciones de cada cuestión, puede proporcionarnos la información buscada. Sobre esta base teórica, en el presente estudio se intenta identificar estos modelos a partir de un pequeño número de preguntas de opción múltiple con respuesta única sobre temas clásicos de física.

En lo posible nos hemos limitado a preguntas de física procedentes de *tests* utilizados en investigaciones ya publicadas. De este modo, no sólo se garantiza que los distractores están bien contruidos sino que, además, los resultados locales pueden compararse con los obtenidos por estudiantes de otros sistemas educativos. El *test* contiene también cinco preguntas (que no se presentan aquí) sobre algunas habilidades matemáticas relevantes en los cursos introductorios de física. Las 8 preguntas de física se refieren a leyes básicas de mecánica, circuitos eléctricos resistivos y electrostática. Las preguntas 2 y 4 se han tomado del *test* “Force Concept Inventory” (FCI) [6,7], la pregunta 7 del “Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test” (DIRECT) [8], y las preguntas 8.2 y 8.3 del *test* “Conceptual Survey of

TABLA I. Resultados pre-instrucción (en %) de las 8 preguntas de física. La puntuación de las opciones correctas va resaltada en negrita.

Cuestión/ Opción	1	2	3.1	3.2	4	5.1	5.2	5.3	6	7	8.2	8.3
	FCI 25		FCI 12						DIRECT 22	CSEM-3	CSEM-5	
A	16	8	9	26	0	21	26	96	1	0	4	2
B	21	0	73	46	58	77	1	2	14	17	63	13
C	51	19	17	27	38	2	73	2	32	10	7	7
D	1	46			3				47	6	5	51
E	10	26			1					62	2	6
NC	1	1	1	1	0				6	5	19	21

Electricity and Magnetism” (CSEM) [9]. Se añadió una pregunta sobre fuerza y energía en un plano inclinado, tomada de Bliss et al [10] y modificada por Hierrezuelo y Montero [11], otra sobre movimiento vertical de Watts y Zylbersztajn [12] y una última sobre circuitos eléctricos de Osborne y Freyberg [13]. Finalmente, se incluyó una pregunta sobre cinemática de nuestra autoría, para comprobar la comprensión de los conceptos de velocidad y aceleración. Las preguntas de física del test se muestran en distintas partes de este trabajo y en el Apéndice. La aplicación de la prueba tuvo lugar durante la primera semana de clases en el semestre del otoño de 2005, antes de que los alumnos hubieran tenido ninguna instrucción sobre los temas en cuestión.

3. Resultados y discusión

En la Tabla I se presentan las puntuaciones (en porcentaje) de todas las opciones de las preguntas de física. Como puede verse, el desempeño de la clase en cada pregunta varía ampliamente desde valores tan bajos como el 7 % para la pregunta 8.3 (ítem 5 del CSEM, sobre la variación con la distancia de la fuerza entre dos cargas eléctricas), hasta el sorprendente 96 % de la pregunta 5.3 (que solicita la dirección de la fuerza neta en un movimiento descendente de caída libre).

El porcentaje medio global de respuestas correctas para todas las preguntas de física es del 42 %, lo cual, a primera vista puede considerarse adecuado para la situación inicial del conocimiento conceptual de un curso de física introductoria. Sin embargo, para comprender en profundidad el conocimiento conceptual de esta muestra se realizó un análisis sobre la preferencia por cada una de las opciones de las preguntas individuales.

La pregunta 1 busca el significado de una aceleración lineal constante de 5 m/s^2 . Alrededor de la mitad de la clase contestó correctamente, mientras la otra mitad proporcionaba respuestas incorrectas. Un dieciséis por ciento eligió la opción A, que refleja confusión de la aceleración ($\Delta v/\Delta t$) con la velocidad ($\Delta x/\Delta t$), un 21 % confundió la aceleración con su variación, $\Delta a/\Delta t$ (opción B) y un 10 % consideró que se refiere a una velocidad constante (opción E). En todos los casos los estudiantes ponen de manifiesto la confusión entre variables cinemáticas, una dificultad del aprendizaje bastan-

te común [6, 14]. Aún cuando los alumnos sean capaces de definir formalmente el concepto de aceleración, con frecuencia carecen de una comprensión cualitativa de la misma como relación que indica el cambio de velocidad experimentado en un intervalo de tiempo [15].

La pregunta 2 corresponde al ítem 25 del FCI y se refiere a un sencillo movimiento unidimensional a velocidad constante, con rozamiento. Solo el 19 % de los estudiantes respondió correctamente, porcentaje próximo a una respuesta aleatoria (20 % para esta pregunta con cinco opciones). El 46 % de los estudiantes pensaba que la fuerza en la dirección del movimiento debe ser mayor que la(s) fuerza(s) que se oponen al mismo, clara manifestación de la idea alternativa “la fuerza debe superar a la resistencia”. En total un 72 % de la muestra (ver Tabla II) refleja la idea no-Newtoniana de que se necesita una fuerza (neta) en la dirección del movimiento para que los objetos se muevan a velocidad constante. La segunda dificultad es que alrededor de 1/3 de la clase mezcla fuerzas verticales y horizontales (Opciones A, B y E), una manifestación de problemas con la naturaleza vectorial de la 2ª ley de Newton.

Las preguntas 3.1 y 3.2 indagan sobre la fuerza y la energía necesarias para subir rodando un cilindro hasta la misma altura en dos planos con inclinaciones diferentes. El 73 % compara apropiadamente las fuerzas necesarias en los dos casos, pero solamente un 27 % compara correctamente la energía necesaria para ascender el cilindro a lo largo de las dos trayectorias. Analizando las respuestas individuales de los estudiantes se encuentra que el 32 % selecciona la combinación de opciones “bb”. La opción “b” es correcta para la pregunta sobre fuerza, pero no para la de energía.

Un exiguo 21 % de los estudiantes respondió correctamente las dos preguntas. Se puede interpretar este resultado como que únicamente este pequeño porcentaje de alumnos es capaz de diferenciar entre fuerza y energía, otro ejemplo de la tan común confusión entre diferentes variables físicas: velocidad y aceleración, fuerza y energía o potencia, entre otras [16].

Las dificultades referentes a la energía, el trabajo y la fuerza están probablemente influenciadas por la confusión entre los significados científico y cotidiano del término trabajo. Bliss *et al.* [10] encontraron que más del 45 % de los estudiantes de escuela secundaria de su muestra considera-

ban que se hace menos trabajo cuando el esfuerzo físico es menor. Hierrezuelo y Montero [11] encontraron resultados similares para estudiantes españoles del 10° grado de la escuela secundaria.

La pregunta 4 corresponde al ítem 12 del FCI y propone diferentes trayectorias para una bala de cañón. La mayoría de los estudiantes (58 %) seleccionaron la trayectoria parabólica correcta, aunque una fracción importante (38 %) puso de manifiesto errores conceptuales asociados con el ímpetu y su primacía sobre la gravedad. Esta alternativa pre-galileana al concepto de fuerza es muy difícil de erradicar. Aparece en diferentes contextos y situaciones, como por ejemplo en la necesidad de una fuerza responsable del movimiento, asociada con la velocidad del objeto [17].

Las preguntas 5.1, 5.2 y 5.3 se refieren al muy estudiado movimiento vertical [12,13,17-19] y confirman nuevamente la persistencia de la creencia no-newtoniana de que “la fuerza es proporcional a la velocidad”. Solamente un 21 % de los estudiantes eligió la fuerza vertical hacia abajo en el movimiento ascendente de la 5.1, valor muy similar al 26 % encontrado en la situación de la pregunta 5.2, cuando el objeto se encuentra en la cúspide. En este caso, el 73 % de la muestra eligió la opción que afirma que no hay fuerza, manifestando la idea alternativa: “no hay movimiento, no hay fuerza”. Muy al contrario, el 96 % seleccionó la opción correcta en el movimiento descendente.

Al analizar estos datos, se suscita una importante pregunta sobre el grado de validez de la respuesta a un ítem individual o a una serie de ellos. En este sentido, resulta interesante discutir la serie de preguntas 5.1, 5.2 y 5.3. Todas ellas se refieren a la misma situación física: el movimiento vertical de una bola de tenis bajo la fuerza de la gravedad, sin embargo los resultados son completamente diferentes si se considera el movimiento ascendente, el punto cuspidal o el movimiento descendente. Al comprobar la coherencia de las respuestas de los estudiantes a las tres cuestiones, se encuentra que solamente 11 de los 81 estudiantes de la muestra (13 %) seleccionan la opción correcta en las tres preguntas. Se puede concluir que solamente esta pequeña proporción de la muestra mantiene un modelo físico fuerte para el movimiento vertical bajo la influencia única de la gravedad, un tema clásico de la mecánica elemental. Sin embargo, si la prueba solamente hubiera incluido la pregunta 5.3, como sucede tantas veces, se hubiera concluido que esta muestra mantiene un conocimiento muy bueno del movimiento vertical. En consecuencia, se hubiera planificado una instrucción basada en conceptos y aplicaciones más avanzadas, evitando gastar el tiempo de clase en conceptos “ya dominados”. Los resultados señalados indican, al contrario, que, en este ejemplo “simple”, al menos un 75 % de la muestra mantiene todavía la pre-concepción de “fuerza proporcional a la velocidad”.

Las preguntas 6 y 7 exploran las ideas de los estudiantes sobre circuitos eléctricos resistivos simples. Mientras el 47 % parece mantener la idea correcta de que la corriente es la misma a todo lo largo de un circuito en serie, un 32 % manifiesta el error conceptual de que la corriente se gasta en

una resistencia [20-23]. Otro 14 % piensa que la corriente fluye en ambas direcciones desde la batería a la bombilla. En la siguiente pregunta, solamente el 17 % de la muestra pudo identificar una representación realista de un simple circuito serie con cuatro bombillas. Aparentemente estos estudiantes no son conscientes de que una bombilla tiene dos conexiones terminales diferentes. Todo ello refleja un problema grave en el modelo de corriente que mantienen estos estudiantes.

Las preguntas 8.2 y 8.3, que se corresponden con los ítems 3 y 5 del CSEM, son dos sencillas aplicaciones de la Ley de Coulomb. El análisis de la coherencia de las respuestas a estas preguntas muestra una situación similar a la señalada en las preguntas 5.1, 5.2 y 5.3. Las respuestas al primer ítem parecen indicar un buen conocimiento de la ley de Coulomb: un satisfactorio 63 % reconoce correctamente la proporcionalidad directa de la fuerza respecto a la carga. Sin embargo, esta imagen optimista entra en conflicto con los resultados de la pregunta 8.3, donde un extremadamente pobre 7 % suministra una respuesta correcta sobre la dependencia de la fuerza eléctrica con la distancia. Este último valor parece ser más realista dado que solamente un 6 % escribió adecuadamente la relación funcional entre la fuerza eléctrica, la magnitud de las cargas y la distancia que las separa, información solicitada en la pregunta 8.1. Esta baja puntuación resulta consistente también con el hecho de que solamente un 7 % de la muestra contestó correctamente ambas preguntas 8.2 y 8.3. Los resultados anteriores parecen indicar que estos estudiantes utilizan extensivamente la conceptualización fenomenológica primitiva de “más es más” [16,24], que aplica el razonamiento proporcional en cualquier circunstancia física, un tipo de razonamiento que puede interferir de forma importante en la instrucción.

De los ejemplos anteriores queda claro que las respuestas a preguntas de opción múltiple y solución única deben ser analizadas en detalle, buscando la coherencia entre preguntas de temas similares o complementarios. Debería tomarse especial cuidado con interpretaciones demasiado optimistas de algunos resultados, sobre todo si se basan en preguntas que pueden responderse correctamente utilizando un razonamiento incorrecto guiado por concepciones alternativas. Este hecho puede resultar contraproducente cuando el diagnóstico inicial se planifica y utiliza para programar la instrucción futura.

Las variables metacognitivas, tales como la capacidad para controlar la comprensión, a menudo son consideradas importantes predictores del aprendizaje de los estudiantes [25]. Por ello, también nos hemos interesado en conocer el grado de seguridad que los estudiantes tenían en sus respuestas, comparando esta confianza con la adecuación de la respuesta. Así se pidió a los estudiantes que señalaran su seguridad en las respuestas seleccionadas en las preguntas 2 y 8.3, utilizando una escala tipo-Likert con 4 niveles (muy baja, alguna, bastante y mucha). Ninguno de los estudiantes que respondió correctamente la pregunta 8.3 estaba suficientemente seguro de su razonamiento. La situación es similar para los estudiantes que eligen el distractor más popular de esta pre-

gunta (opción d), que señalan una seguridad muy baja (50 %) o solamente alguna seguridad (45 %) en su respuesta. Interpretamos esta baja seguridad como otra consecuencia de los imprecisos o incoherentes modelos mentales mostrados por estas muestras de estudiantes.

3.1. Una alternativa: Utilizar metodologías de enseñanza para el aprendizaje activo

¿Son estos resultados inesperados? ¿Se puede modificar esta deficiente situación? De acuerdo con los resultados de la investigación educativa en física, la respuesta a la primera pregunta es “no,” mientras que la respuesta a la segunda pregunta es un claro “sí”, con la condición de que en la instrucción se utilicen metodologías de enseñanza que fomenten el aprendizaje activo de la física. McDermott [26], resumiendo alrededor de dos décadas de investigación en los procesos de aprendizaje de la física en alumnos de los niveles universitario básico y de escuela secundaria alerta que “la enseñanza tradicional no resuelve ciertas dificultades conceptuales” y que “... esta educación tradicional tampoco logra la conexión entre el mundo real, sus representaciones y los conceptos físicos” (p. 1131). Se ha demostrado repetidamente que la enseñanza basada en exposiciones del profesor, laboratorios tipo receta y evaluación mediante resolución de problemas cuantitativos – características salientes de la enseñanza tradicional – resultan en una instrucción muy poco efectiva [27]. La alternativa actualmente es involucrar al estudiante activamente en su proceso de aprendizaje, una aproximación didáctica con sólidas bases en la psicología del aprendizaje [16]. La investigación educativa en física ha mostrado repetidamente que el uso de metodologías de aprendizaje activo es muy efectivo para conseguir un aprendizaje conceptual de la física más profundo y duradero [16].

Para ilustrar esta afirmación, pero en un sistema educativo de relevancia para nuestros objetivos, presentamos a continuación dos aplicaciones de metodologías de aprendizaje activo en escuelas secundarias de Argentina. Estas experiencias fueron llevadas a cabo en cursos normales de escuelas públicas con bajos recursos y ambientes de baja tecnología, asegurando así su reproducibilidad en los sistemas educativos de interés para los autores de este trabajo.

3.2. Mecánica básica en la escuela secundaria

El primer ejemplo concierne a la enseñanza de la mecánica clásica a alumnos del 11° año de instrucción (16-17 años de edad) de una escuela pública de San Luis, Argentina [28]. Este curso, tanto por sus condiciones institucionales (estatal, pocos recursos) como por el nivel socioeconómico de sus estudiantes, puede ser considerado representativo de la instrucción en ese sistema educativo. Asistían a este curso 29 estudiantes, 15 de ellos de sexo femenino. El contenido de curso era el típico de un curso de mecánica clásica: cinemática en 1 y 2 dimensiones, Leyes de Newton, trabajo, energía, impulso y cantidad de movimiento. La profesora, con menos de 5 años

de experiencia docente, había tenido experiencias en metodologías de aprendizaje activo en su formación profesional y decidió cambiar la enseñanza, incluyendo dos estrategias didácticas para el aprendizaje activo bastante conocidas:

Tutoriales para Física Introductoria [29], para apoyar el aprendizaje conceptual, y

Problemas Ricos en Contexto como estrategia de resolución de problemas [30].

Tutoriales para Física Introductoria es una metodología de enseñanza desarrollada en el Departamento de Física de la University of Washington en Seattle por el grupo de física educativa liderado por la Prof. Lillian McDermott. Tiene el valor agregado de que está disponible en español. La estrategia se basa en tres actividades complementarias: Pre-test, Tutorial y Ejercicios Complementarios. El pre-test tiene por objetivo alertar, tanto al estudiante como al profesor, sobre el estado inicial de conocimiento de los estudiantes, predisponiendo además a estos últimos para el aprendizaje. En la clase de Tutorial, los estudiantes realizan las actividades propuestas, trabajando en grupos colaborativos de 3 o 4. Estas actividades, la mayoría de lápiz y papel, han sido diseñadas científicamente para favorecer la construcción de los conceptos relevantes. Cada Tutorial comienza con una situación simple, que contiene conceptos o hechos ya adquiridos o aceptados por los estudiantes. Los Ejercicios Complementarios, asignados como tarea extraescolar para realizar fuera de clase, tienen el objetivo de extender y consolidar el material desarrollado en el respectivo Tutorial. En esta experiencia se practicaron 6 tutoriales de mecánica: velocidad, aceleración en una dimensión, fuerzas, 2da y 3ra. leyes de Newton, trabajo y cambios en la energía cinética, cambios en energía y momento. Cada Tutorial demandó algo más de dos horas de trabajo de aula. Los Ejercicios complementarios, realizados por los alumnos como tareas extra escolares, fueron expuestos y discutidos luego en clase. Los alumnos fueron evaluados parcialmente por esta tarea.

La metodología que utiliza los *Problemas Ricos en Contexto* consiste primordialmente en entrenar a los estudiantes a resolver problemas según una metodología de cinco pasos: a) visualizar el problema, b) construir una representación física, c) planificar la solución, d) ejecutar el plan y e) controlar (verificar y evaluar) la solución. Estos cinco pasos entrenan al alumno en lo que se entiende son las estrategias de resolución de problemas de los “expertos”. Tienen por objetivo que los estudiantes abandonen sus estrategias de “novatos”, las cuales consisten generalmente en la búsqueda de una ecuación donde se puedan insertar los datos que les brinda el enunciado del problema y obtener un número que ellos entienden es la “respuesta” al problema. La estrategia de resolución de problemas propuesta esta basada en abundante investigación educativa en física y otras ciencias, en el marco teórico que indaga en las características de los “expertos” y “novatos”, y lleva más de medio siglo desarrollándose en matemática, a partir del trabajo pionero de Polya [31]. Esta estrategia tiene además el valor adicional de poderse utilizar en un marco institucional más amplio, tendiente a desarrollar en los estu-

diantes las habilidades de resolución de problemas en varias disciplinas al mismo tiempo.

Merece destacarse que la utilización de tutoriales en la instrucción implicó un reordenamiento de tareas, debiendo reducirse el tiempo de exposición por parte del profesor para poder desarrollar todos los temas de la materia en el tiempo normal asignado a la misma. Este cambio es, en general, una característica y una necesidad de los cursos donde se implementan metodologías de aprendizaje activo. Se genera al colocar al alumno como eje de la instrucción, mientras que la instrucción tradicional, centrada en el profesor, asigna más tiempo a las tareas del docente.

La Tabla II incluye las respuestas dadas por esta muestra de estudiantes secundarios al ítem 25 del FCI (pregunta 2 de nuestro diagnóstico, ver Figura 1). Se incluyen los resultados obtenidos al comienzo y al final del año escolar (SL04-A-Pre y SL04-A-Post, respectivamente). La Tabla II también incluye los resultados de la muestra de estudiantes españoles del presente estudio (UAH05) y los resultados pre instrucción obtenidos por estudiantes universitarios recién ingresados en las carreras de matemática y física de la Universidad Nacional de San Luis (Argentina) al comienzo del año académico 2002 (UNSL02). Estos alumnos, que habían tenido cursos de ciencias naturales en los años 7°, 8° y 9° de la escuela media, más un curso de física general en su 11° año de instrucción, pueden considerarse representativos del sistema educativo local, en la misma forma que los estudiantes del presente estudio (UAH05) lo son del sistema educativo español.

Los datos de la Tabla II muestran que, antes de la instrucción, las tres muestras mantienen los modelos alternativos más comunes referidos a la situación simple y común de una persona empujando una caja sobre un piso con fricción (las respuestas correctas fueron solamente del 19 %, 15 % y 4 %, respectivamente). Como se expresa más arriba, la principal dificultad de la muestra UAH05 se relaciona con la (pre)concepción no newtoniana de que para mantener el movimiento a velocidad constante (opción D), se necesita una fuerza (neta) en la dirección de movimiento. Un análisis de los distractores revela que los alumnos de la Universidad de Alcalá (UAH05) muestran signos de una instrucción previa.

TABLA II. Resultados pre-instrucción en el ítem 25 del FCI (en %) para los estudiantes de la Universidad de Alcalá (UAH05) y de la Universidad Nacional de San Luis (Argentina) (UNSL 2002), y resultados pre y post-instrucción para estudiantes de 11° grado de una Escuela Secundaria en San Luis, Argentina. La opción correcta es la C.

Muestra/ Opción	SL04. A- Pre	SL04. A- Post	UAH 05-Pre	UNSL 02
A	4	12	9	11
B	29	15	0	31
C	4	65	19	15
D	24	4	46	14
E	39	4	26	29

Por ejemplo, no se confunden tanto (9 %) entre fuerzas horizontales (las relacionadas con el movimiento) y las verticales (como el peso, opciones A y B) como los alumnos ingresantes a la UNSL (UNSL2002), que manifiestan una fuerte preferencia (42 %) por dichas opciones. Interpretamos este resultado como una evidencia de que la muestra UNSL2002 tiene un conocimiento muy ingenuo, sin huellas de instrucción previa en física. Esta suposición parece confirmarse en la Tabla II, que muestra la similitud entre los datos pre-instrucción de los estudiantes secundarios (SL04-A-Pre) y los de estos ingresantes universitarios (UNSL2002) (que han tenido la correspondiente instrucción secundaria en física). Para comparación en la columna SL04.A-Post de la Tabla II mostramos los resultados obtenidos con la estrategia de aprendizaje activo descrita más arriba. Esencialmente la preferencia por las opciones que representan los modelos alternativos han sido minimizadas y la mayoría de los estudiantes parecen haber adquirido el modelo Newtoniano.

¿Estos datos representan un resultado característico de la instrucción tradicional o son solo idiosincrásicos de las muestras estudiantiles aquí analizadas? Al respecto es interesante destacar que Hestenes *et. al.*, [6] encontraron que, después de la instrucción tradicional, solamente el 28 % de los estudiantes secundarios que habían seguido un curso de física en distintas escuelas secundarias del Estado de Arizona en los Estados Unidos de América eran capaces de identificar apropiadamente el balance de fuerzas resultante en un movimiento con velocidad constante. Esto representaba un pequeño mejoramiento respecto del 16 % medido al comienzo de la instrucción.

El otro ejemplo se refiere a la aplicación de Tutoriales para Física Introductoria [29] en la enseñanza de circuitos eléctricos resistivos simples en tres clases distintas del 11° año de instrucción, de otra escuela pública estatal de San Luis, Argentina. En esta experiencia se utilizaron los Tutoriales sobre circuitos eléctricos: “Un modelo para circuitos, Parte 1: Corriente y resistencia”, y “Un modelo para circuitos, Parte 2: Diferencia de potencial”. La clase constaba de 25 estudiantes (12 varones) y los resultados se identifican en la Tabla III con la sigla SL04.B. Esta escuela también es un establecimiento de bajos recursos y baja tecnología, sin un lugar específico para el laboratorio. Por ello las actividades de estos Tutoriales, que requieren trabajar con cables, baterías y bombillas, se realizaron en el aula normal de clases, con los estudiantes y el profesor aportando los elementos para las experiencias. El conocimiento conceptual se midió mediante el test de respuestas múltiple “Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Test” (DIRECT) [8] antes, inmediatamente después y un año después de la instrucción (columnas SL04.B-Pre, SL04.B-Post y SL05.B-Post, de la Tabla III, respectivamente). La Tabla III también muestra los resultados de la muestra UAH05 (Ítem 7 de nuestra prueba, ver Tabla I) y los resultados publicados por Engelhardt y Beichner [8] que corresponden a estudiantes que habían tomado los cursos de física básica, mayoritariamente en universidades y colleges,

TABLA III. Resultados pre-instrucción en el ítem 22 de la versión 1.0 del DIRECT (en %) para la Universidad de Alcalá (UAH05). Las columnas SL04.B- Pre, SL04.B- Post y SL05.B- Post representan los resultados iniciales, finales y la retención un año después de haber recibido instrucción mediante Tutoriales de un grupo de 11° grado de una Escuela Secundaria en San Luis, Argentina. La última columna presenta los resultados señalados por Engelhardt y Beichner (2004) como referencia para comparación. La opción correcta es la II.

Muestra/ Opción	SL04. B- Pre	SL04. B- Post	SL05. B Post	UAH05	E&B
I	10	3	0	0	2
II	13	67	57	17	32
III	30	7	30	10	18
IV	7	10	0	6	4
V	40	13	13	62	44

pero también en algunas escuelas secundarias, en los Estados Unidos de América (población E&B en la última columna).

De acuerdo a estos resultados, la dificultad más relevante se refiere a que los estudiantes son incapaces de identificar que dos bombillas del circuito D están en corto circuito (opción V). Esta dificultad parece haber sido eficazmente tratada por la instrucción basada en Tutoriales (SL04.B-Post), destacándose que la importante ganancia en conocimiento conceptual se mantiene aún un año después de la instrucción (SL05.B-Post), la cual se compara muy bien aún con el desempeño de los estudiante referidos por Engelhardt y Beichner [8], que pertenecen a un sistema educativo de nivel universitario y más competitivo. En el mismo estudio Sirur Flores y Benegas [32] muestran que otro curso de la misma escuela, pero que siguió la instrucción tradicional, obtuvo un año después de la instrucción ganancia esencialmente nula, retornando al mismo nivel de conocimiento conceptual que tenían antes de la instrucción. Este experimento confirmó, con una muestra y situación institucional muy diferentes [32,33], los resultados publicados por Abbot *et al.* [34] quienes mostraron que se puede lograr un aprendizaje conceptual muy importante aplicando sólo dos actividades de aprendizaje activo (los dos Tutoriales citados más arriba).

Los dos ejemplos anteriores sirven de base explicativa a los resultados de nuestro estudio: la instrucción tradicional produce a mediano plazo un efecto dramáticamente nulo, compatible con los resultados del relevamiento de este trabajo. En contraposición la instrucción basada en metodologías de aprendizaje activo produce, en diversos sistemas educativos, mejoras en el conocimiento conceptual mejores y duraderas. Al respecto es importante señalar que ambas metodologías, *Tutoriales* y *Problemas Ricos en Contexto*, aunque hayan sido pensadas y desarrolladas para su utilización en los cursos de física universitaria en los Estados Unidos de América, se adaptan perfectamente para su utilización en escuelas secundarias de otro sistema educativo.

4. Algunas conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se ha expuesto y discutido la aplicación de un *test* de 8 preguntas de respuestas de opción múltiple sobre temas de física clásica que conforma el currículo normal de la escuela secundaria en distintos sistemas educativos. El *test* fue respondido por 81 alumnos que recién iniciaban sus estudios de Biología en la Universidad de Alcalá, España. Nuestro objetivo ha sido determinar, de una manera simple y objetiva, el conocimiento conceptual que dicha muestra tenía sobre aquellos temas de física que usualmente son considerados un prerrequisito para el éxito de los estudios universitarios. Tomados en conjunto nuestros resultados indican que esta muestra estudiantil no posee un conocimiento práctico de las leyes físicas básicas: alrededor del 50 % tiene severas limitaciones con el concepto de aceleración y menos del 20 % comprende la relación entre fuerza y movimiento para un simple movimiento unidimensional a velocidad constante. En los conceptos básicos de electricidad la situación es similar: menos del 10 % de los estudiantes comprende la relación funcional de la Ley de Coulomb con las cargas y la distancia y menos del 20 % puede identificar una representación de un circuito serie con 4 resistencias y una batería. Un análisis de popularidad de los distintos distractores revela que esta muestra estudiantil todavía mantiene, después de la instrucción preuniversitaria, ideas alternativas importantes sobre estos temas centrales de la física. Esta situación se repite con los alumnos encuestados de escuelas secundarias y universidad de Argentina descritos en la segunda parte de este trabajo. Es claro que la instrucción recibida por estos estudiantes en la escuela secundaria ha sido ineficiente en erradicar estas ideas o concepciones alternativas, y reemplazarlas por el modelo newtoniano de la física clásica. Como una alternativa a esta preocupante (y probablemente generalizada) situación, se han mostrado los resultados de la aplicación de estrategias de enseñanza para el aprendizaje activo en cursos de física del 11° año de instrucción en dos escuelas de San Luis, Argentina. Se ha mostrado que las ganancias en el aprendizaje conceptual no solo son muy superiores a las logradas mediante la enseñanza tradicional, sino que además ese conocimiento es duradero y comparable con el obtenido en alumnos más avanzados y de sistemas educativos más exigentes y competitivos. Tomados en conjunto estos resultados indican que, para cambiar la deficitaria situación mostrada por este estudio, la aproximación tradicional a la enseñanza debería ser reemplazada por estrategias de enseñanza para el aprendizaje activo, apropiadamente desarrolladas y probadas por la investigación educativa en física. Por último es bueno destacar que cuestionando las estrategias de enseñanza, también podríamos encontrar algunas de las razones por las cuales los estudiantes actualmente no se sienten inclinados hacia la física o, en general, hacia el estudio de carreras científicas o tecnológicas, como lo han discutido recientemente Williams *et al.* [35].

Esperamos que la información proporcionada y discutida en este trabajo pueda ser utilizada no solamente para diagra-

mar una instrucción más eficiente de los cursos iniciales de física universitaria, sino también como material de apoyo a iniciativas más amplias para lograr una verdadera y eficiente reforma educativa en la enseñanza de las ciencias [36,37].

En ese sentido este estudio puede ser considerado, en una escala muy reducida y en el área de física, complementario y confirmatorio de los resultados del Proyecto PISA, el estudio comparativo de la OECD sobre el conocimiento que tienen los alumnos de la escuela media y secundaria en distintas disciplinas y temas del currículo. El estudio PISA 2003 y sobre todo el reciente estudio PISA 2006 [38] encuentra una situación alarmante acerca del conocimiento de matemáticas y ciencias físicas de los alumnos de varios países de Ibero América, incluso en países de una gran tradición en ciencias, y particularmente en física, como Argentina y Brasil. Los datos aquí expuestos, que son muy similares a los resultados preliminares del proyecto de diagnóstico sobre la formación en física en el que se inserta este trabajo [39], muestran que el conocimiento conceptual de física de los alumnos ingresantes a la universidad es todavía más bajo de lo que infiere del estudio PISA 2006. Esto es razonable, dado que el estudio PISA mide los resultados de la instrucción durante la ejecución de la misma, mientras que en el presente estudio se ha medido el conocimiento conceptual varios meses o más de un año después de que la instrucción tuviera lugar. Pocos estudios se realizan tanto tiempo después de la instrucción, pero un punto común en ellos es que las ganancias de aprendizaje después de la instrucción tradicional son dramáticamente pobres, en total consonancia con lo aquí determinado [26,32].

Agradecimientos

El apoyo económico de AECID a través del proyecto A/9261/07 “Nuevos enfoques metodológicos y de diagnóstico en los cursos introductorios de ciencias en la universidad” es plenamente reconocido, como también el apoyo del Proyecto Proico 3-2-0102. El rol del aprendizaje conceptual de la matemática y la física en el rendimiento de los alumnos ingresantes a carreras de ciencias y de ingeniería en la UNSL” Universidad Nacional de San Luis (Argentina) y del subsidio SEJ2005-03126 del Ministerio de Educación, España. JCB es un miembro de la “Carrera del Investigador” – CONICET (Argentina).

Apéndice

Figura 1: Ítem 2 del Diagnóstico de Conceptos, tomados del Ítem 25 del tests “Force Concept Inventory” (FCI) [6,7].

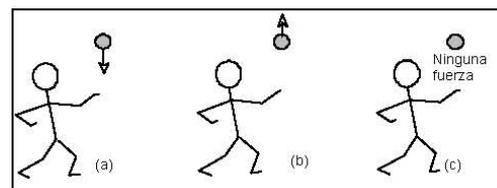
Una mujer va empujando, de manera horizontal, con fuerza constante una caja grande que está colocada sobre el piso. Como resultado, la **caja se mueve sobre el piso horizontal a velocidad constante** “ v_0 ”. La fuerza horizontal constante aplicada por la mujer:

- A- tiene la misma magnitud (módulo) que el peso de la caja.
- B- es mayor que el peso de la caja.
- C- tiene la misma magnitud (módulo) que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
- D- es mayor que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
- E- es mayor que el peso de la caja y también que la fuerza total que se opone a su movimiento.

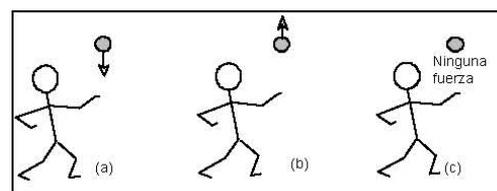
Figura 2: Ítem 5 del Diagnóstico de Conceptos tomado de Watts y Zylbersztajn [12]

Una persona lanza al aire en línea recta, hacia arriba, una pelota de tenis. Las preguntas que siguen se refieren a la fuerza total sobre la pelota en su recorrido. (Considere despreciable la fricción con el aire)

- 5.1 *La pelota ha sido lanzada y está subiendo, ¿qué flecha mostrará la fuerza sobre la pelota?*



- 5.2 *Si la pelota está parada en el punto más alto de su recorrido, ¿con qué flecha se muestra la fuerza sobre la pelota?*



- 5.3 *Si la pelota está ya cayendo, ¿con qué flecha se muestra la fuerza sobre la pelota?*

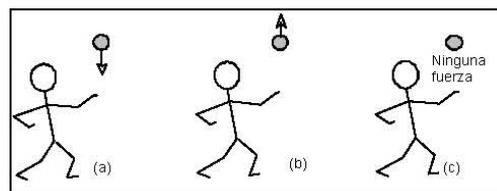


Figura 3: Ítem 8 del Diagnóstico de Conceptos, tomado de los Ítemes 3 y 5 del test “Conceptual Survey of Electricity and Magnetism” (CSEM) [9]

8. Dos objetos pequeños cada uno con un exceso de carga +Q ejercen una fuerza de magnitud F uno sobre el otro.



8.1 Escribe la expresión que nos permite determinar la magnitud (módulo) de la fuerza de repulsión entre ambos objetos cargados.

Reemplazamos uno de los objetos por otro cuya carga neta es de +4Q:



8.2 (CSEM 3) Si la magnitud (módulo) original de la fuerza sobre la carga +Q era F; ¿cuál es la magnitud (módulo) de la fuerza sobre la carga de +Q ahora?

- (a) 16F (b) 4F (c) F (d) F/4 (e) otra

8.3 (CSEM 5) Movemos luego las cargas de +Q y +4Q a una distancia que es 3 veces mayor que la que las separaba anteriormente:

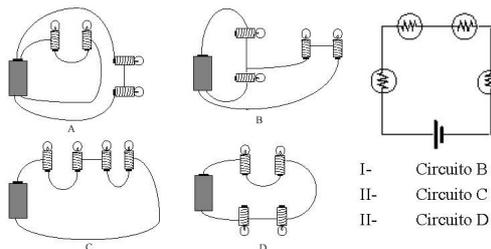


¿Cuál es ahora la magnitud (módulo) de la fuerza sobre la carga neta de +4Q?

- (a) F/9 (b) F/3 (c) 4F/9 (d) 4F/3 (e) otra

Figura 4: Ítem 7 del Diagnóstico de Conceptos, tomado del (Ítem 22 del test “Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test” (DIRECT) [8]

¿Cuál (o cuales) de los 4 circuitos mostrados abajo representa el circuito esquemático de la derecha?



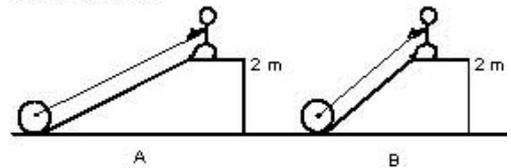
- I- Circuito B
- II- Circuito C
- II- Circuito D

Apéndice

Prueba de comprensión conceptual de leyes básicas de física

(Las preguntas faltantes pertenecientes a tests ya publicados están enunciadas en la figura correspondiente en el texto.)

1. Que la aceleración de una partícula que se mueve en línea recta tenga un valor constante de 5 m/s^2 , significa que:
 - a) En cada segundo recorre 5 m.
 - b) En cada segundo su aceleración aumenta en 5 m/s^2
 - c) En cada segundo su rapidez aumenta en 5 m/s.
 - d) En 5 segundos su rapidez aumenta en 1 m/s.
 - e) Su rapidez es constante e igual a 5 m/s.
3. El dibujo muestra a un hombre que sube con velocidad constante un cilindro pesado desde el suelo hasta una altura de 2 metros, pudiendo utilizar dos rampas. El rozamiento (fricción) rampa – cilindro se considera despreciable. Haga una marca en el recuadro de la respuesta con la que esté de acuerdo:



- 3.1 ¿En qué caso ejerce el hombre más fuerza?
 - En A En B Igual en los dos casos
- 3.2 ¿En qué caso se requiere más energía para subir el cilindro hasta la altura de 2 metros?
 - En A En B Igual en los dos casos
4. (Corresponde al Ítem 12 del test “Force Concept Inventory” (FCI) [6,7]) Un camión grande se avería en la carretera y un pequeño automóvil lo empuja de regreso a la ciudad tal como se muestra en la figura adjunta.

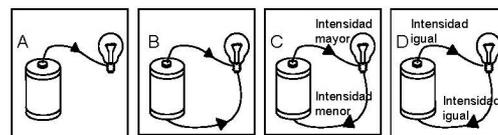


Mientras el automóvil que empuja al camión acelera para alcanzar la velocidad de marcha:

- a) la magnitud (módulo) de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- b) la magnitud (módulo) de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.

- c) la magnitud (módulo) de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- d) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
- e) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

6. Elija, entre los cuatro modelos siguientes, cuál representa la circulación de la corriente eléctrica en el circuito compuesto por la pila, los cables y la bombilla:



1. D.E. Meltzer, *Am. J. Phys.* **70** (2002) 1259.
2. J.M. Buick, *Eur. J. Phys.* **28** (2007) 1073.
3. D.P. Ausubel, *Educational Psychology: A cognitive view* (New York: Holt Rinehart and Winston 1978).
4. L.C. McDermott y E.F. Redish, *Am. J. Phys.* **67** (1999) 755.
5. L. Bao y E.F. Redish *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.* **69**(2001) S45.
6. D. Hestenes, M. Wells y G. Swackhamer, *The Physics Teacher* **30** (1992) 141.
7. D. Hestenes, *Evaluation Instruments* ([On-line] 2005). Available: <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>.
8. P.V. Engelhardt y R.J. Beichner *Am. J. Phys.* **72** (2004) 98.
9. D.P. Maloney, T.L. O'Kuma, C.J. Hieggelke y A. van Heuvelen, *Am. J. Phys. Suppl.* **69**(2001) S12.
10. J. Bliss, I. Morrison y J. Ogborn, *International Journal of Science Education* **10** (1988) 99.
11. J. Hierrezuelo y A. Montero, *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. (Madrid: Laia/M.E.C. 1988).
12. D. Watts y A. Zylbersztajn, *Physics Education* **16** (1981) 360.
13. R.J. Osborne y P. Freyberg, *Learning in Science. The implications of children's Science*. (London: Heinemann, 1985); (*El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*, Madrid: Narcea, 1991).
14. R. Beichner, *Am. J. Phys.* **62** (1994) p750.
15. D.E. Trowbridge and L. McDermott, *Am. J. of Phys.* **49** (1981) 242.
16. E. Redish, *Teaching Physics with the Physics Suite*, (Wiley 2004). Disponible también en: <http://www.physics.umd.edu/perg>.
17. L. Viennot, *European Journal of Science Education* **1** (1979) 3.
18. I.A. Halloun y D. Hestenes, *Am. J. of Phys.* **53** (1985) 1056.
19. J. Clement, *Am. J. of Phys.* **56** (1982) 66.
20. J.J. Dupin y S. Joshua, *International Journal of Science Education* **12** (1987) 79.
21. C.F. Gauld, *Learning in Science Project*. (Working Paper 209. Hamilton, N.Z.: Waikato University, 1985).
22. R.J. Osborne, *New Zealand Science Teacher* **29** (1981) 12.
23. R.J. Osborne, *Research in Science and Technological Education* **1** (1983) 73.
24. A.A. DiSessa, *Toward an Epistemology of Physics. Cognition and Instruction* **10** (1993) 105.
25. M.C. Wang, G.D. Haertel y H.J. WalberG, *Review of Educational Research* **63** (1993) 249.
26. L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **69** (2001) 1127.
27. R. Hake, *Am. J. Phys.* **66** (1998) 64.
28. J. Benegas y C.F. Gauna, *Estudio de la evolución de las concepciones previas sobre mecánica newtoniana en estudiantes de 2^{do} año Polimodal*, (Actas SIEF VII Corrientes, Argentina 2004).
29. L.C. McDermott, P.S. Shaffer y PER, *Tutorials in Introductory Physics*, (Prentice Hall. Version en Español: Tutoriales en Física Introductoria 2001, Prentice Hall, Buenos Aires 1998).
30. P. Heller y K. Heller "Cooperative Group Problem Solving in Physics", (University of Minnesota 1999).
31. Polya, *How to Solve it*, 2nd Edition, (Princeton Univ. Press 1957).
32. J. Sirur Flores and J. Benegas *Retención de los conceptos de circuitos eléctricos a un año de la instrucción: aprendizaje activo vs enseñanza tradicional*, (Actas SIEF VIII, Entre Ríos, Argentina 2006).
33. J. Sirur Flores y J. Benegas *Rev. Ens. Ciencias* **26** (2008) 245.
34. D.S. Abbot, J.M. Saul, G.W. Parker y R.J. Beichner, *Am. J. of Phys.* **68** (2000) S60.
35. Ch. Williams, M. Stanisstreet, K. Spall, E. Boyes y D. Dickson, *Phys. Ed.* **38** (2003) 324.
36. R. Pintó, *Science Education* **1**(2005) 1.
37. L. Viennot, F. Chauvet, P. Colin y G. Rebmann *Science Education* **89** (2005) 13.
38. OECD *Programme for International Student Assessment (PI-SA)*, <http://www.pisa.oecd.org>, (Diciembre 26, 2007).
39. M.C. Pérez-Landazábal et al., *Deficiencias Recurrentes en la Enseñanza de la Física: Problemas de Comprensión en Alumnos que Acceden a Carreras de Ciencias en Universidades de España e Iberoamérica*. (Actas XXXI Reunión Bienal de Física y 17^o Encuentro Ibérico de Enseñanza de la Física, Granada, España, 2007).