

# Conocimiento conceptual de Física básica en ingresantes a carreras de ciencias e ingeniería en cinco Universidades de España, Argentina y Chile

J. Benegas<sup>1</sup>, M. Villegas<sup>1</sup>, M.C. Pérez de Landazábal<sup>2</sup> y J. Otero<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física/IMASL, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, (Argentina).

<sup>2</sup> CSIC y Departamento de Física, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid, (España).

<sup>3</sup> Departamento de Física, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid, (España).

*En el presente trabajo se reportan los resultados de la aplicación de un test de respuestas múltiples diseñado para indagar sobre el conocimiento conceptual que sobre temas de cinemática lineal, fuerzas, energía, circuitos eléctricos resistivos y fuerza eléctrica tienen al iniciar sus estudios universitarios alumnos de distintas carreras de ciencias e ingeniería en cinco universidades de España, Argentina y Chile. Los resultados muestran que los conocimientos iniciales de estos alumnos son muy pobres, indicando que la instrucción que tuvieron en la escuela secundaria no ha sido eficaz, manteniéndose muy fuertemente la presencia de modelos alternativos. Estos resultados reafirman y extienden, para estos temas de Física, los pobres resultados alcanzados por estudiantes secundarios iberoamericanos en la evaluación PISA 2006 de ciencias naturales. Para comparación se presentan los resultados logrados con instrucción de tipo constructivista, que estimula fuertemente la participación del alumno en la creación de su propio conocimiento. Se muestra la enorme diferencia en el aprendizaje conceptual entre los alumnos que tuvieron metodologías de enseñanza de aprendizaje activo, respecto de los resultados de nuestra evaluación diagnóstica en alumnos que tuvieron una instrucción de tipo tradicional. Se sugiere así el camino a seguir para una verdadera reforma educativa, donde la Física deje de ser no solo una materia difícil, ajena a los intereses de los alumnos y en la que predomina la extensión de los contenidos sobre su profundidad e inteligibilidad.*

**Palabras clave:** Enseñanza activa, enseñanza de la Física, concepciones alternativas, aprendizaje conceptual.

## Introducción

La realidad socioeducativa en la mayoría de los países de Ibero América indica que existe un muy bajo nivel de logro, por no decir fracaso, de los estudiantes que egresan de la escuela secundaria e intentan ingresar a la universidad, tanto en Física como en otras disciplinas científicas. Esta realidad se refleja en los medios de difusión pública cuando se publican resultados alarmantes de encuestas como los recientemente publicados de la evaluación PISA 2006 (OCDE, 2007) sobre el conocimiento que sobre temas de ciencias naturales tienen los alumnos de 15 años. Los países latinoamericanos han tenido una puntuación que los ubica al fondo del conjunto de países participantes, aún siendo algunos de ellos de una larga tradición en ciencias, y de Física en particular, como Argentina y Brasil.

Para contribuir a la resolución de este problema educativo se ha comenzado un estudio, que abarca algunas naciones iberoamericanas, en el cual se busca determinar los condicionantes de tipo académico que inciden en el rendimiento estudiantil de los ingresantes universitarios a carreras científicas y tecnológicas relacionadas con la Física (Pérez-Landazábal y colaboradores, 2006, 2007). El estudio incluye diagnósticos sobre el conocimiento conceptual de matemática y de Física, sobre algunas destrezas básicas para estos estudios y respecto de la capacidad de razonamiento de estudiantes de 5 universidades iberoamericanas. En el presente trabajo proponemos analizar, mediante un test de respuestas múltiples y opción única, los conocimientos conceptuales de Física con que los estudiantes arriban al curso inicial de Física básica de carreras científicas en algunas universidades de los países participantes del referido estudio. Nuestro análisis tendrá por objetivo mostrar el conocimiento inicial estudiantil sobre temas de cinemática, Leyes de Newton, energía, circuitos eléctricos y Ley de Coulomb. Podemos adelantar que el aprendizaje medido de esta forma es extremadamente pobre y llamativamente similar en los distintos sistemas educativos. Como una vía de mejoramiento mostraremos que el aprendizaje puede ser drásticamente mejorado en la escuela secundaria si se toman en cuenta los resultados de la investigación en enseñanza de la Física. Esta subdisciplina ha experimentado en los últimos 25 años una verdadera revolución con exitosas aplicaciones áulicas tanto a nivel universitario como preuniversitario. Partiendo de los importantes logros en la comprensión de las dificultades de aprendizaje características de los temas principales de la llamada "Física básica", en varios grupos de investigación se han desarrollado distintas estrategias de aprendizaje diseñadas especialmente para superar dichas dificultades (McDermott, 2001, McDermott y Redish, 1999). El problema de aprendizaje ha sido atacado desde una perspectiva científica y es así que a partir del año 1980 se han llevado a cabo estudios de concepciones alternativas y de dificultades

características en la mayoría de los temas importantes de la Física (McDermott y Redish, 1999). Los resultados de estos estudios han sido tomados como base para el desarrollo de metodologías de enseñanza activa y para la confección de diagnósticos especializados (Hestenes y colaboradores, 1992). Esta aproximación didáctica constructivista, que en general se denomina de aprendizaje activo, ha demostrado en numerosas investigaciones, aplicaciones experimentales y programaciones educativas institucionales ser mucho más efectiva que la instrucción tradicional. Para una revisión actualizada y completa de esta aproximación didáctica se refiere a la obra de Redish (2004).

Nuestra preocupación es que, a pesar de estos resultados, la práctica real de nuestras aulas, tanto en el nivel secundario como universitario básico, ha cambiado prácticamente nada, manteniéndose, cuando no empeorando con el tiempo, el pobre rendimiento de los alumnos ingresantes a la universidad.

En la siguiente sección presentamos el método de medida y resultados sobre el conocimiento conceptual de Física de los alumnos que ingresan a 5 universidades iberoamericanas. En la última, discutimos estos resultados a la luz de algunas experiencias de enseñanza secundaria basadas en el aprendizaje activo. El punto en común de estas experiencias es que han producido aprendizajes conceptuales muy altos, utilizando material didáctico producto de las investigaciones en aprendizaje de la Física que se citan más arriba.

### Conocimiento conceptual de física de alumnos que acceden a algunas universidades iberoamericanas

Este trabajo propone una descripción y análisis comparativo de los conocimientos conceptuales sobre algunos temas básicos de Física y de Matemáticas relevantes para la enseñanza de la Física universitaria mostrados por alumnos ingresantes a cinco universidades de cuatro países de Ibero América. El estudio se basa en la aplicación de un test diagnóstico de respuestas de opción múltiple construido en base a preguntas de reconocidos tests, surgidas también de la investigación en aprendizaje de la Física. Seguiremos aquí el trabajo de Bao y Redish (2001), que aseguran que el diseño científico de estos tests permite que cada una de las opciones de respuesta (o grupo de respuestas) pueda ser asignada a un modelo particular con el cual los estudiantes describen el mundo físico representado por la pregunta. Estas respuestas cognitivas son dependientes del contexto y pueden corresponder a un modelo mental basado en las leyes Físicas aceptadas por la comunidad científica, o a modelos mentales alternativos, más ingenuos o de sentido común. Como una consecuencia, las respuestas a diferentes preguntas sobre el mismo tema o concepto pueden no

ser coherentes, en el sentido que no siempre reflejarán el mismo modelo, a menos que el estudiante tenga el modelo científico fuertemente arraigado. Para hacer evidente estos modelos las diferentes preguntas del diagnóstico provienen de tests de respuestas múltiples obtenidos de la literatura en Física educativa y que contienen, como distractores, una taxonomía lo más completa posible de tales modelos alternativos y dificultades características de aprendizaje. Con esta herramienta, un análisis de las respuestas estudiantiles que incluya el grado de aceptación de los diferentes distractores, proveerá la información deseada.

### Método

#### a) Muestras

En este trabajo de tipo indagatorio, las muestras están determinadas previamente por la organización de cada institución y su grado de similaridad es que están constituidas por estudiantes recientemente egresados de la escuela secundaria y que pretenden realizar estudios en disciplinas o profesiones estrechamente ligadas a la Física. El objetivo de comparar estas poblaciones es encontrar puntos en común que pudieran tener respecto del aprendizaje conceptual de los temas evaluados. Las muestras de Argentina corresponden a alumnos de ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (muestra denominada UNSJ) y de Licenciatura y Profesorado en Física y Profesorado en Matemáticas y Lic. en Cs Biológicas de la Universidad Nacional de San Luis (muestra UNSL). Los alumnos de la Universidad de Santiago, en Chile, han comenzado en su gran mayoría carreras de ingeniería (muestra USACH). Similar característica tienen los alumnos de la Universidad Católica del Norte, de Antofagasta, Chile (muestra UCN). Por último la muestra de la Universidad de Alcalá, España son estudiantes de Biología (muestra UAH). En total son 632 estudiantes encuestados. Dada la índole del estudio las muestras son naturalmente de distinto tamaño, aunque en todos los casos se trató de encuestar a todos los alumnos del correspondiente curso.

#### b) Prueba diagnóstica o instrumento de medición.

El instrumento de medición ha sido construido con el objetivo de medir el conocimiento conceptual de algunas leyes Físicas básicas y habilidades Matemáticas que se consideran relevantes para los primeros cursos de Física universitaria. En total son 5 preguntas de Matemáticas (trigonometría, derivadas, ecuación lineal, potencias de 10 y vectores) y ocho preguntas de Física (cinemática, fuerzas, 2da y 3ra. Ley de Newton, fuerza y energía en un plano inclinado, movimiento vertical, circuitos eléctricos y Ley de Coulomb, ver Apéndice). Dos de las preguntas de fuerzas (preguntas 7 y 8) corresponden a los ítems 25 y 15 del test "Force Concept Inventory" (FCI, Hestenes y colaboradores, 1992), sin dudas el test más usado en investigación y docencia por la comunidad internacional de Física educativa hasta ahora. La pregunta 12 corresponde al

ítem 17 del “Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test” (DIRECT, Engelhardt y Beichner, 2004). Las preguntas 13.1, 13.2 y 13.3 corresponden a los ítems 3, 4 y 5 del test “Conceptual Survey of Electricity and Magnetism” (CSEM, Maloney y colaboradores, 2001). Hemos agregado una pregunta sobre cinemática (Ítem 6), otra sobre fuerza y energía en un plano inclinado (Ítem 9.1 y 9.2, Bliss y colaboradores, 1988 modificada por Hierrezuelo y Montero, 1988), otra sobre movimiento vertical (Ítems 10.1, 10.2 y 10.3, Watts y Zylbersztajn, 1981) y otra sobre circuitos eléctricos (ítem 11, Osborne y Freyberg, 1985). Todas las preguntas indagan sobre el conocimiento conceptual respecto de cada uno de los temas.

**c) Procedimiento**

La prueba fue administrada durante las primeras semanas del curso académico en la sesión de clase, por los profesores de la asignatura. Los alumnos invirtieron hasta 40 minutos en su contestación y registraron su nombre en la hoja de respuestas para poder luego comparar con los resultados post instrucción universitaria (que no se presentan en este trabajo).

**Resultados**

En la Tabla I se reporta el rendimiento estudiantil, como fracción de respuestas correctas, para las preguntas de Física del test. La primera columna indica la procedencia de la muestra, mientras que la primera fila indica el respectivo ítem. Observamos que, en general, el rendimiento ha sido muy bajo en todas la preguntas, excepto las preguntas 9.1 y 10.3. La primera corresponde a la fuerza necesaria para levantar un cilindro en dos planos de igual altura pero distinta inclinación, mientras que la segunda corresponde a la fuerza resultante en un movimiento de caída libre. En la figura 1 hemos graficado estos resultados para las preguntas de mecánica. Es notorio en ella el comportamiento

similar de las 5 poblaciones, tanto en sus logros como en sus defectos. Solo un 41% puede interpretar el concepto básico de aceleración, con casi el 20% confundiendo velocidad y aceleración, con fracciones similares confundiendo movimiento a velocidad constante con movimiento a aceleración constante o que interpreta que está cambiando la aceleración.

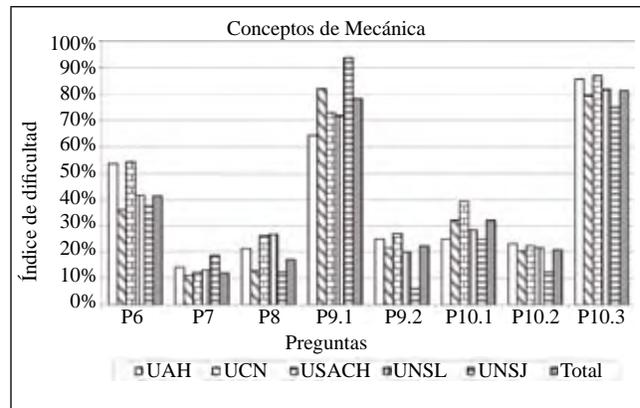


Figura 1. Rendimiento de las 5 poblaciones en las preguntas de mecánica.

La conclusión es que casi el 60% de la población no puede interpretar el concepto de aceleración, lo cual impondrá seguramente severas limitaciones a su comprensión de las Leyes de Newton. Este problema se manifiesta en la pregunta 7 (ítem 25 del FCI), que se refiere al simple caso de empujar una caja sobre una superficie horizontal a velocidad constante. Solo un 12% en promedio contesta correctamente, un rendimiento inclusive inferior al de la respuesta al azar (20% en estas preguntas con 5 opciones). Todas las poblaciones presentan dos problemas principales: un 27% sostiene que debe haber una fuerza neta en la dirección de movimiento, mientras que un 37% sostiene que la fuerza aplicada debe ser mayor al peso y a las fuerzas que

	P6	P7	P8	P9.1	P9.2	P10.1	P10.2	P10.3	P11	P12	P13.1	P13.2	P13.3	media
<b>UAH</b>	0.54	0.14	0.21	0.64	0.25	0.25	0.23	0.86	0.45	0.09	0.48	0.46	0.29	0.38
<b>UCN</b>	0.36	0.11	0.13	0.82	0.22	0.32	0.20	0.79	0.37	0.16	0.34	0.18	0.14	0.32
<b>USACH</b>	0.54	0.12	0.26	0.73	0.27	0.39	0.22	0.87	0.33	0.18	0.44	0.31	0.20	0.37
<b>UNSL</b>	0.42	0.13	0.27	0.72	0.20	0.28	0.22	0.82	0.43	0.17	0.47	0.40	0.30	0.37
<b>UNSJ</b>	0.38	0.19	0.13	0.94	0.06	0.25	0.13	0.75	0.63	0.56	0.13	0.38	0.19	0.36
<b>TOTAL</b>	0.41	0.12	0.17	0.78	0.22	0.32	0.21	0.81	0.38	0.17	0.37	0.25	0.18	0.34

Tabla I. Rendimiento (fracción de respuestas correctas) de las 5 poblaciones en las preguntas de Física. La última fila es el rendimiento global en cada ítem, mientras que la última columna representa el rendimiento promedio de cada población en todas las preguntas de Física.

se oponen al movimiento. Otro 12% incluye también en su análisis una comparación con el *peso*. Hay otro 12% que no contesta. O sea que la gran mayoría no solo cree que debe haber una fuerza resultante en la dirección de movimiento, sino que casi la mitad de la población mezcla en su análisis fuerzas horizontales con verticales. La pregunta 8, que corresponde al ítem 15 del FCI indaga sobre la comprensión de acción y reacción. Vemos nuevamente el paupérrimo resultado global y particular, con solo un 17% respondiendo correctamente al simple problema de un auto que comienza a empujar a un camión. De nuevo el rendimiento es inferior a la respuesta al azar, con un 56% de la población afirmando que el auto hace más fuerza sobre el camión que viceversa. Este negativo panorama respecto del concepto fuerza parece revertirse en la pregunta 9.1, donde un 78% del total de estas muestras responde correctamente al comparar la fuerza que se hace en dos rampas de distinta inclinación e igual altura. Si consideramos la pregunta 9.2, respecto de la energía para subir el cilindro por dichas rampas, solo un 22% responde correctamente, mientras que el 45% afirma que se necesita más energía en la rampa más inclinada. Si se analizan las dos preguntas en forma conjunta encontramos que solamente un 14% responde correctamente ambas preguntas de este simple ejemplo cualitativo. Este análisis desnuda otro problema básico de estas poblaciones: la confusión entre variables Físicas. Al menos un 38% confunde fuerza con energía, tal como se muestra en la figura 2.

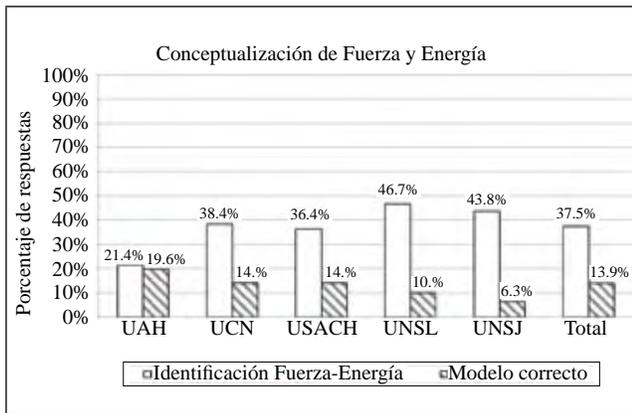


Figura 2. Identificación de fuerza y energía (barras vacías) y modelo correcto en fuerza y energía para cada muestra y la media global (Total).

La pregunta 10 se refiere al movimiento de una pelota de tenis, en subida (10.1), en el punto cuspidal (10.2) y en bajada (10.3). Apreciamos de la Figura 1 y la Tabla I, la enorme diferencia en rendimiento en los tres casos. Nuevamente, si solo hubiéramos realizado la pregunta 10.3, como tantas veces se hace, hubiéramos concluido que el tema de caída libre esta muy bien asimilado en estas poblaciones.

Sin embargo, un simple análisis de consistencia de las tres preguntas en conjunto nos lleva a la conclusión de que tan solo un pobrísimo 8% contesta correctamente las tres situaciones. Según se aprecia en la figura 3 casi la mitad del total afirma que la fuerza está en la dirección de movimiento, manifestando la enorme persistencia del concepto pre-newtoniano de ímpetus. El modelo correcto requiere que en los tres casos la fuerza neta elegida sea hacia abajo, mientras que en el llamado modelo “ascendente” se elija en el primer caso hacia arriba y en los otros dos hacia abajo, y en el modelo “repose” la opción es hacia abajo cuando está en movimiento, pero nula en el punto cuspidal.

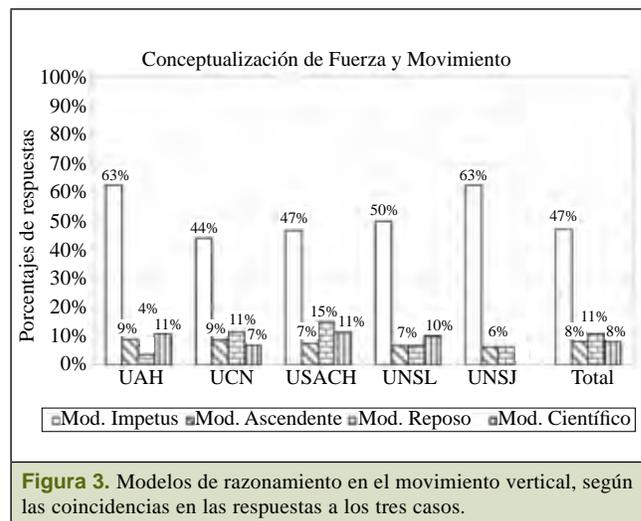


Figura 3. Modelos de razonamiento en el movimiento vertical, según las coincidencias en las respuestas a los tres casos.

Las preguntas 11 y 12 se refieren a circuitos eléctricos, mientras que la 13 indaga sobre las fuerzas entre cargas eléctricas. Los resultados se indican en la figura 4.

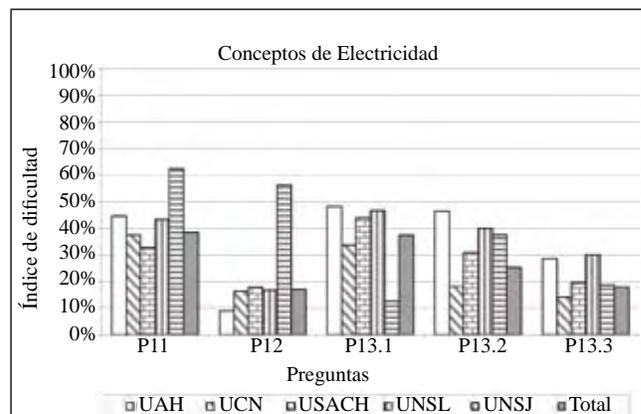


Figura 4. Resultados para las preguntas de electricidad para todas las muestras y para el promedio global (Total).

Nuevamente el resultado es pobre, manteniéndose en estos estudiantes muy fuertemente (32%) el modelo de atenuación, donde la corriente se va “gastando” a medida que pasa por los elementos del circuito (ítem 11). El Ítem 12 tomado del test DIRECT, revela que solo un 17% puede ordenar las intensidades de corriente cuando dos resistencias iguales son conectadas en paralelo.

Finalmente el análisis de las tres preguntas de la Ley de Coulomb (Ítems 13) nos dice que el rendimiento es mejor (37%) para la dependencia con la carga que con la distancia (18%), mientras que solo el 25% contesta correctamente cuando se intercambian las cargas, evidenciando nuevamente los problemas con la 3ra. Ley de Newton. Realizando nuevamente un análisis de consistencia de las respuestas, se encuentra que tan solo un 5% responde las tres preguntas correctamente, mientras que otro 5% responde mal solo la reacción (13.2) y un 9% tiene mal la dependencia con la distancia, pero bien la dependencia con la carga. Se hace notar que en el texto de este ítem se brindó la ecuación de la Ley de Coulomb, evidenciando que estos alumnos no solo tienen problemas conceptuales con los principios físicos, sino también severas limitaciones en el manejo y comprensión de una expresión algebraica típica como la Ley de Coulomb.

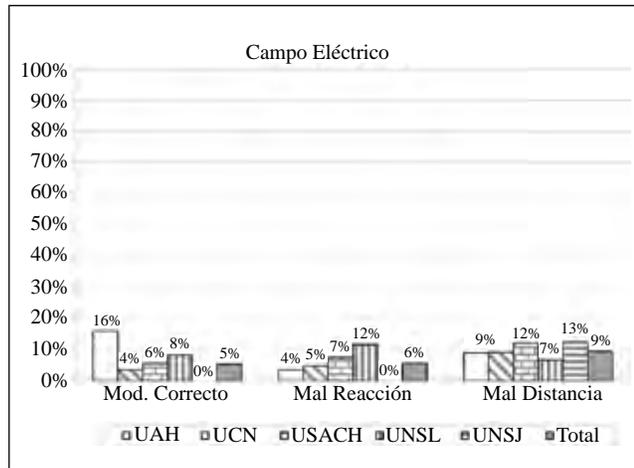


Figura 5. Coincidencias de las respuestas de las 3 preguntas del Ítem 13 (ver texto).

### Una alternativa: El aprendizaje activo

Este bajo rendimiento de los egresados de la escuela secundaria en las muestras de estos tres países ¿es real o solo refleja lo inadecuado del test diagnóstico o es idiosincrásico de las muestras utilizadas? Y si fuera real, ¿debemos dejar de enseñar Física en la escuela secundaria? Para profundizar este aspecto, en la figura 6 se compara el rendimiento estudiantil al comienzo del curso de mecánica en la escuela

secundaria (11° año de instrucción) con el rendimiento de los alumnos universitarios al comenzar el curso de mecánica para estudiantes ingresantes a carreras de Física y matemática en la UNSL. Se observa el mismo patrón de rendimiento, con un resultado global para cada población prácticamente igual a la respuesta al azar (20% para el FCI). Estos resultados nos dicen que antes y después de la instrucción secundaria los estudiantes muestran el mismo conocimiento. Un análisis detallado de las respuestas demuestra que en ambos casos responden regidos por una variedad de modelos alternativos propios de sujetos sin instrucción (Benegas y Fernández Gauna, 2004).

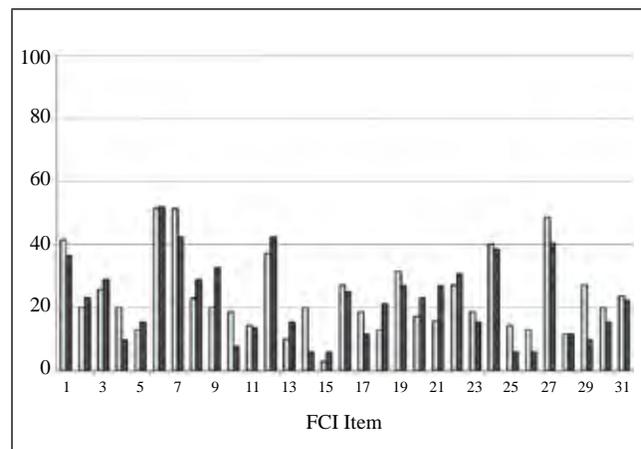
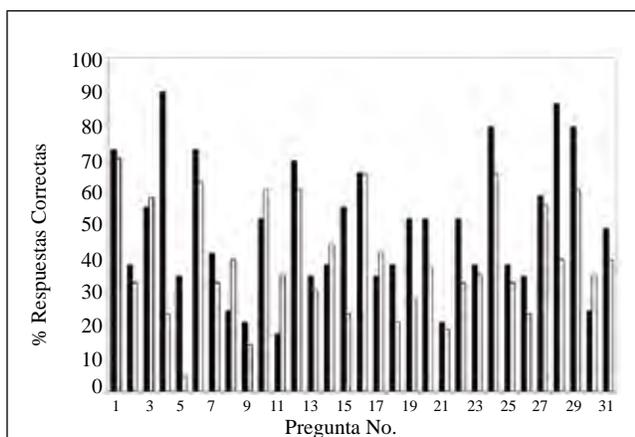


Figura 6. Rendimiento pre-instrucción en el curso de mecánica del 11° de instrucción secundaria (barras claras) y en el curso inicial de mecánica para estudiantes de carrera de ciencias (barras oscuras) de la Universidad Nacional de San Luis.

¿Es posible cambiar este estado de cosas? ¿Conviene no enseñar Física en la escuela secundaria? La investigación en enseñanza-aprendizaje de la Física provee respuestas objetivas a estas preguntas. En primer lugar se ha establecido que la utilización de metodologías de aprendizaje activo de la Física se traduce en sustanciales ganancias de aprendizaje, y que este proceso de aprendizaje es significativo y relevante para el estudiante. Citaremos aquí solo algunos casos para comparación con los resultados descritos más arriba.

El primer caso se refiere a la enseñanza de la mecánica en 11° año de instrucción en una escuela estatal, mixta, de San Luis, Argentina (Benegas y Fernández Gauna, 2004). La enseñanza fue programada partiendo de un diagnóstico del conocimiento previo estudiantil, logrado mediante la aplicación del test FCI al comienzo del año académico (datos en figura 6). El temario del curso es el normal de mecánica clásica, establecido previamente por la institución. Se propuso utilizar como principal herramienta didáctica a Tutoriales para Física Introductoria (McDermott y Shaffer, 2001), originalmente desarrollada para los cursos de Física para

ciencias e ingeniería en los Estados Unidos de América. Tutoriales es una estrategia que se adapta con facilidad para suplementar otras actividades de aula, favoreciendo sobre todo el aprendizaje conceptual y el desarrollo de las habilidades de razonamiento. Tiene la enorme ventaja de estar disponible en español. Tutoriales fue complementado con la estrategia Resolución de Problemas en Grupos Cooperativos (Heller y Heller, 1999) con el objetivo de desarrollar las habilidades de resolución de problemas y de transferencia del conocimiento físico a situaciones de la vida cotidiana.



**Figura 7.** Rendimiento post instrucción en las 30 preguntas del FCI en el curso de mecánica en 2do. Polimodal (barras oscuras) y en el curso de Mecánica para alumnos de Ingeniería en la UNSL (barras claras). Item 31 es el promedio de la respectiva muestra.

En la figura 7 se muestran los resultados para las 30 preguntas del FCI al final del curso y se comparan con los datos del mismo test, pero aplicado al final del curso de mecánica para alumnos de ingeniería de la UNSL (las barras 31 corresponden al rendimiento total del test en cada muestra). Comparando con el pretest de figura 6, se puede observar una ganancia importante al final de curso, con un rendimiento promedio en el post test superior a los

alumnos de ingeniería. Creemos importante destacar que los alumnos universitarios no solo son aquellos que han elegido una carrera tecnológica, sino que se encuestó a los que terminaron el curso, es decir los que tuvieron éxito, que normalmente son alrededor del 50% de los que comienzan, mientras que en la escuela secundaria tomaron el test todos los alumnos que iniciaron el curso, sin importar sus motivaciones o preferencias de futuros estudios.

Un caso similar, pero en un sistema educativo más exigente lo proporcionan Savinainen y Scott (2002) quienes en un curso del Bachillerato Internacional en Finlandia utilizaron una estrategia de enseñanza para el aprendizaje activo basada en Instrucción por Pares (Mazur, 1997). Midieron la efectividad de la instrucción también mediante el test FCI, determinando un rendimiento medio pre-instrucción de 28% y post instrucción de 69%. A los fines comparativos debemos tener en cuenta que, en general, las escuelas que ofrecen el Bachillerato Internacional están por encima de las del sistema educativo local, en medios, selectividad de los estudiantes y capacidad de su profesorado. Sin embargo sirven para destacar los excelentes resultados que pueden ser obtenidos en el nivel secundario que, aún en sistemas educativos de pocos recursos, son comparables al de cursos universitarios en los Estados Unidos de América (Hake, 1998).

Un último caso ilustrativo lo proporciona la experiencia de Sirur Flores y Benegas (2008), quienes reportan la utilización de dos Tutoriales para Física Introductoria (McDermott y Shaffer, 2001) para la enseñanza de circuitos eléctricos en el 11° año de instrucción en dos escuelas secundarias de la ciudad de San Luis. Se tomaron tres clases, dos de una escuela estatal mixta (muestras A y C) y otro curso de una escuela confesional solo para mujeres (muestra B). Un curso de la escuela estatal fue aleatoriamente asignado como población control (muestra A) en la cual se practicó la misma enseñanza tradicional que en años anteriores. El profesor (con experiencia y entrenado en Tutoriales) fue el mismo en los tres cursos. Los resultados muestran que la enseñanza mediante Tutoriales es marcadamente más efectiva que la tradicional en fomentar el aprendizaje conceptual y significativo. En esta experien-

División	Pre-Test	Post-Test I	Post-Test II	g	
	2003	2003	2004	2003	2004
A	20%	37%	21%	0.21	0.01
B	16%	63%	46%	0.55	0.35
C	12%	68%	49%	0.63	0.41

**Tabla II.** Rendimiento de las 3 muestras en el test DIRECT. Post test II fue tomado un año después de la instrucción. g es la ganancia intrínseca (Hake,1998).

cia se evaluó el conocimiento de circuitos mediante el test DIRECT (Engelhardt y Beichner, 2004), que, al igual que el FCI, ha sido científicamente construido en base a los resultados de investigación educativa sobre aprendizaje de circuitos eléctricos.

El test fue tomado en las tres muestras en tres oportunidades: antes de la instrucción (pre-test), inmediatamente después de la instrucción (post test I) y un año después de la instrucción (post test II). La tabla II muestra los resultados obtenidos. Según el post test II los alumnos de los dos cursos experimentales, si bien redujeron su conocimiento después de un año sin ninguna práctica en el tema, aun mantienen un buen rendimiento, comparable al reportado por Engelhardt y Beichner (2004) para alumnos de universidades y Colleges de Estados Unidos de América. La ganancia intrínseca, utilizada por Hake (1998),  $g = (\langle \text{Post} \rangle - \langle \text{Pre} \rangle) / (1 - \langle \text{Pre} \rangle)$ , (donde  $\langle \text{Pre/Post} \rangle$  significa el promedio sobre todo el curso en el pre/post test), muestra un año después de la instrucción todavía los valores característicos de los métodos interactivos de enseñanza (Hake, 1998). Muy distinta es la situación de la muestra A sometida a la enseñanza tradicional, que retornó al estado de conocimientos previo a la instrucción.

Entendemos que la muy preocupante situación determinada por nuestro estudio, y una posible vía de solución, están perfectamente ejemplificadas por este experimento: la enseñanza tradicional, practicada masivamente en las escuelas secundarias de los sistemas educativos tomados por este estudio, produce en el largo plazo un aprendizaje conceptual esencialmente nulo. En contraposición la enseñanza basada en las modernas metodologías diseñadas para el aprendizaje activo procuran un aprendizaje conceptual comparable con alumnos de nivel universitario, aún de sistemas educativos más exigentes que los nuestros.

## Conclusiones y Recomendaciones

Se han presentado en este trabajo resultados preliminares y parciales de un estudio más amplio que busca determinar las condiciones de ingreso a los cursos de Física de estudiantes universitarios en distintos países de Ibero América. El objetivo aquí ha sido indagar sobre el conocimiento conceptual que sobre temas centrales de Física clásica tienen alumnos ingresantes en cinco universidades participantes. El resultado general ha sido extremadamente pobre, en general por debajo inclusive del valor de la respuesta al azar. Si bien las preguntas del diagnóstico han sido elegidas porque sus distractores representan las concepciones alternativas más comunes y persistentes en los temas propuestos, tan bajo resultado es realmente preocupante. Si este estudio parcial y limitado por naturaleza correspondiera a un estudio oficial y generalizado, una conclusión inmediata sería que la enseñanza de la Física en la escuela secundaria es en el mejor

de los casos irrelevante. No es de extrañar entonces que los alumnos rechacen a la Física y a la enseñanza de la Física, lo que provoca, entre otras cosas, un defecto de vocaciones para las carreras científicas y tecnológicas, tan necesarias para el desarrollo de nuestras sociedades. En contraposición se han mostrado experiencias de utilización de metodologías de enseñanza para el aprendizaje activo que producen, en los mismos sistemas educativos, importantes y duraderas ganancias en el aprendizaje conceptual. ¿Son estos resultados solo idiosincrásicos de las muestras estudiantiles utilizadas?. Para responder esta pregunta deberíamos ampliar este estudio a otros países y regiones, pero por la variedad de los sistemas educativos indagados en este estudio, no parece probable que encontremos resultados muy diferentes. Pero además tenemos los datos del relevamiento PISA 2006 (OCDE 2007) sobre el conocimiento de ciencias que tienen los alumnos de 15 años en distintos sistemas educativos. Debe tenerse en cuenta que las características fundamentales que han guiado el desarrollo del estudio PISA han sido el concepto de *competencia básica* que tiene que ver con la capacidad de los estudiantes para extrapolar lo que han aprendido y aplicar sus conocimientos ante nuevas circunstancias, su relevancia para el aprendizaje a lo largo de la vida y su regularidad (OCDE, 2007). Estos objetivos no son iguales, pero son compatibles y complementarios con los del presente estudio, que indaga sobre la comprensión conceptual de temas básicos de Física, en alumnos que acaban de terminar sus estudios secundarios. En ese sentido nuestros resultados muestran que el pobre desempeño de los estudiantes latinoamericanos en PISA 2006, que muestran a Argentina, Brasil y Colombia al final de la lista de países participantes, NO es modificado en los tres últimos años de escuela secundaria, con resultados post instrucción secundaria iguales a los obtenidos ANTES de dicha instrucción. Se complementan además con resultados preliminares del presente estudio, que muestra que las capacidades de razonamiento de los estudiantes encuestados son realmente bajas, con alrededor de dos terceras partes de la muestra en un estadio concreto o empírico-inductivo. Con estos resultados no es de extrañar que se despierten actualmente tan pocas vocaciones para las ciencias y la ingeniería, uno de los problemas estructurales que aquejan los planes de desarrollo de países como la Argentina.

En conclusión, es claro que se debe seguir enseñando Física, y que luchemos para recuperar el lugar que supo tener en el currículo escolar, pero ya es hora que se incorporen a las aulas de nuestros sistemas educativos los resultados de los últimos 25 años de investigación educativa en enseñanza de la Física. Solo así podremos recuperar para la Física el lugar de privilegio que supo tener en el sistema educativo como generadora de conocimientos y habilidades básicas para posteriores estudios y como formadora para la vida democrática en una sociedad moderna basada en el desarrollo sostenible.

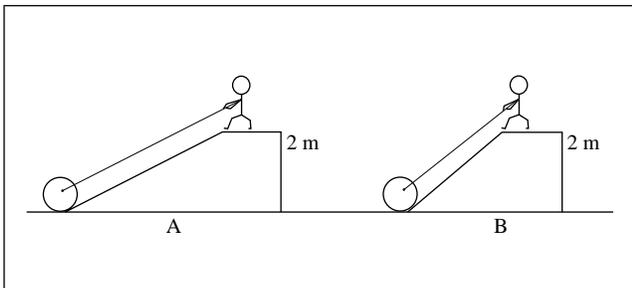
**Reconocimientos**

Este trabajo ha sido realizado bajo los auspicios del proyecto AECI A/9261/07, “Nuevos enfoques metodológicos y de diagnóstico en los cursos introductorios de ciencias en la universidad” por el Grupo ACEM, integrado por: J. Benegas y M. Villegas (Universidad de San Luis, Argentina), A. Macías, N. Nappa, S. Pandiella y P. Godoy (Universidad de San Juan, Argentina), S. Seballos (Universidad de Santiago, Chile), W. Ahumada y R. Espejo (Universidad Católica del Norte, Chile), M. A. Hidalgo, J. Otero y M. C. P. Landazábal (Universidad de Alcalá; España), Juan Silvio Cabrera (Universidad de Pinar del Río, Cuba) y Hugo Alarcón y Genaro Zavala (Instituto Tecnológico de Monterrey, México). J. Benegas es miembro de la “Carrera del Investigador Científico”, CONICET, Argentina y agradece el auspicio del Departamento de Física de la Universidad de Alcalá para su visita a dicha Universidad, donde este trabajo fue diagramado.

**Apéndice**

Preguntas de temas de Física, que NO forman parte de los test publicados en la literatura (FCI, DIRECT y CSEM), manteniendo la numeración original.

6. Que la aceleración de una partícula que se mueve en línea recta tenga un valor constante de  $5 \text{ m/s}^2$ , significa que:
- a) En cada segundo recorre 5m.
  - b) En cada segundo su aceleración aumenta en  $5 \text{ m/s}^2$ .
  - c) En cada segundo su rapidez aumenta en  $5 \text{ m/s}$ .
  - d) En 5 segundos su rapidez aumenta en  $1 \text{ m/s}$ .
  - e) Su rapidez es constante e igual a  $5 \text{ m/s}$ .
7. Ítem 25 de FCI  
 8. Ítem 15 de FCI  
 9. 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:



9.1. ¿En qué caso ejerce el hombre más fuerza?

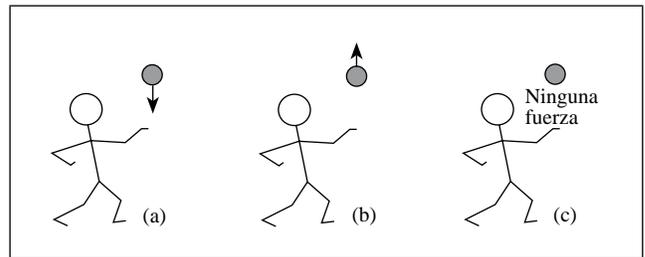
- En A  En B  Igual en los dos casos

9.2. ¿En qué caso se requiere más energía para subir el cilindro hasta la altura de 2 metros?

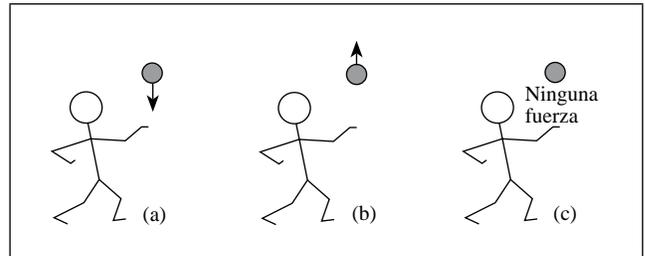
- En A  En B  Igual en los dos casos

10. 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).

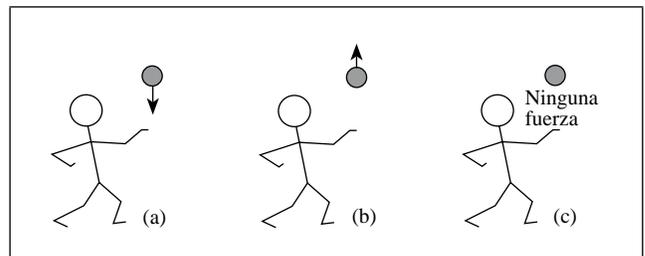
10.1. La pelota ha sido lanzada y está subiendo, ¿qué flecha mostrará la fuerza sobre la pelota?



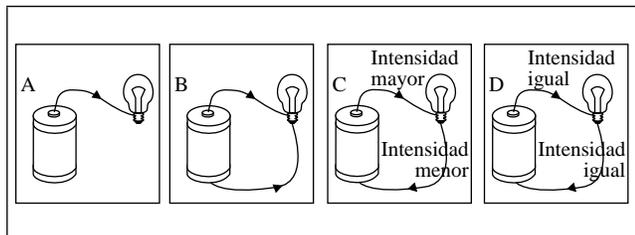
10.2. Si la pelota está parada en el punto más alto de su recorrido, ¿con qué flecha se muestra la fuerza sobre la pelota?



10.3. Si la pelota está ya cayendo, ¿con qué flecha se muestra la fuerza sobre la pelota?



11. 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:



- 12. Ítem 17 de DIRECT
- 13.1 ítem 3 de CSEM
- 13.2 ítem 4 de CSEM
- 13.3 ítem 5 de CSEM

### Referencias bibliográficas

- [1] BAO, L., Y REDISH, E. F. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states, *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.* **69**(7), S45-S53.
- [2] BEICHNER R.J. (1994) *Testing student interpretation of kinematics graphs*, *Am. J. of Phys.*, **62**, pp. 750.
- [3] Benegas J. y Fernández Gauna C., (2004), *Estudio de la Evolución de las Concepciones Previas Sobre Mecánica Newtoniana en Estudiantes de 2do Año Polimodal*, Actas Sief VII.
- [4] BENEGAS J. Y VILLEGAS M. (2006). *La Enseñanza Activa de la Física: la Experiencia de la UNSL*, IX Conferencia Inter- Americana sobre Educación en la Física- San José - Costa Rica Costa Rica.
- [5] BENEGAS J., VILLEGAS M., PÉREZ DE LANDAZÁBAL M. Y OTERO J. (2006a). *El Frecuente Absurdo Educativo De Cuando Más Es Menos*, Actas de SIEF VIII, Entre Ríos, Octubre 2006.
- [6] BLISS, J., MORRISON, I. Y OGBORN, J. (1988). *A longitudinal study of dynamics concepts*. *International Journal of Science Education* **10** (1), 99-110.
- [7] DISESSA, A.A. (1993). *Toward an Epistemology of Physics*. *Cognition and Instruction*, **10**, 105-225.
- [8] ENGELHARDT, P. V., Y BEICHNER, R. J. (2004). *Students' understanding of direct current resistive electrical circuits*. *American Journal of Physics* **72**(1), p. 98-115.
- [9] HAKE, R. 1998. *Interactive engagement vs. traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test for introductory physics*. *American Journal of Physics* **66**(1), 64-74.
- [10] Heller P. y Heller K., 1999, "Cooperative Group Problem Solving in Physics". University of Minnesota.
- [11] Hestenes D., WELLS M. Y SWACKHAMER G. (1992) *Force Concept Inventory*, *The Physics Teacher* **30**, p141-58.
- [11] [12] HIERREZUELO, J. Y MONTERO, A. (1988). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la química*. Madrid: Laia/M.E.C.
- [13] MALONEY, D. P., O'KUMA, T. L., HIEGELKE, C. J., Y VAN HEUVELEN, A. (2001). *Surveying Students' conceptual knowledge of electricity and magnetism*. *American Journal of Physics*, **69**(7), S12-S23.
- [14] MAZUR E. (1997); *Peer's Instruction*, Prentice Hall.
- [15] MCDERMOTT L.C., *Guest comment: How we teach and how students learn: A mismatch*. (1993) *American Journal of Physics* **61**, p.295-298.
- [16] MCDERMOTT L. C. Y REDISH, E. F. (1999), *Resource Letter: PER-1: Physics Education Research*, *American Journal of Physics* **67**(9) 755-767
- [17] MCDERMOTT, L.C., Oersted Medal Lecture 2001: *Physics education research: The key to student learning*, *American Journal of Physics* **69**(11) 1127 (2001).
- [18] MCDERMOTT L.C. Y SHAFFER P.S., *Tutoriales para Física Introductoria* (2001), Prentice Hall, Buenos Aires.
- [19] OCDE (2007) OCDE Programme for International Student Assessment (PISA), <http://www.pisa.oecd.org>, consultado Diciembre 26, 2007. Informe Español disponible en: <http://www.mepsyd.es/mecd/gabipren/documentos/files/informe-espanol-pisa-2006.pdf>.
- [20] OSBORNE, R.J. Y FREYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's Science*. London: Heinemann, El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos, 1991. Madrid: Narcea).
- [21] PÉREZ-LANDAZÁBAL M.C Y GRUPO ACEM (2006). *Identifying Relevant Prior Knowledge and Skills in Introductory University Physics Courses*. GIREP Conference *Modelling in Physics and Physics Education*, pp.125-126. Póster. Amsterdam (Holland), 20-25 Agosto.
- [22] PÉREZ-LANDAZÁBAL M.C., OTERO J., BENEGAS J., MACÍAS A., ESPEJO R., SEBALLOS S. (2007). *Deficiencias recurrentes en la enseñanza de la Física: problemas de comprensión en alumnos que acceden a carreras de ciencias en universidades de España e Iberoamerica*. XXXI Reunión Bienal de la RSEF y 17º Encuentro Ibérico para la Enseñanza de la Física. Granada. Septiembre.
- [23] REDISH, E., (1999), Millikan Award Lecture *Building a Science of Teaching Physics* *American Journal of Physics* **67**, 562-573.
- [24] REDISH E. (2004). *Teaching Physics with the Physics Suite*, Wiley. Disponible (2008) en <http://www2.physics.umd.edu/~redish/Book/>.
- [25] SAVINAINEN A. Y SCOTT P. (2002), Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching, *Physics Education*, **37**, p53.
- [26] SIRUR FLORES J. Y BENEGAS J. 2008. Aprendizaje de circuitos eléctricos en el Nivel Polimodal: resultados de distintas aproximaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, **26**, (2). p.245, 2008.
- [27] WATTS, D. Y ZYLBERSZTAIN, A. (1981). *A survey of some children's ideas about force*. *Physics Education* **16**, 360-365.