

Comprensión de conceptos básicos de la Física por alumnos que acceden a la universidad en España e Iberoamérica: limitaciones y propuestas de mejora



Pérez de Landazábal, M. C.^{1,2}, Benegas, J.³, Cabrera, J. S.⁴, Espejo, R.⁵, Macías, A.⁶, Otero, J.², Seballos, S.⁷, Zavala, G.⁸

¹*CENFA L. Torres Quevedo, CSIC, Serrano No.144, 28006, Madrid, España.*

²*Departamento de Física, Universidad de Alcalá, 28871, Alcalá de Henares, España.*

³*Departamento de Física, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina.*

⁴*Centro de Estudios de Ciencias de la Educación Superior, Universidad de Pinar del Río, Cuba.*

⁵*Departamento de Física, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.*

⁶*Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina.*

⁷*Departamento de Física, Universidad de Santiago, Chile.*

⁸*Departamento de Física, Tecnológico de Monterrey, México.*

E-mail: carmen.perez@uah.es

(Recibido el 1 de Junio de 2010; aceptado el 30 de Agosto de 2010)

Resumen

La enseñanza preuniversitaria de la Física debe proporcionar una formación que sirva de base a los estudios en los primeros cursos universitarios. En este artículo se analiza esta formación en 2109 alumnos que acceden a siete universidades de Argentina, Chile, Cuba, España y México. En particular se examina la comprensión de algunos conceptos y leyes básicas de la Física mediante una prueba con preguntas destinadas a medir la consecución de objetivos de comprensión y aplicación. De los resultados se desprenden dos conclusiones principales. La primera es que el conocimiento conceptual de Física de los alumnos examinados es sorprendentemente pobre, cuando se compara con las expectativas que tienen los propios sistemas educativos acerca de lo que deberían haber aprendido estos estudiantes. La segunda es que este pobre conocimiento es llamativamente similar para alumnos pertenecientes a sistemas educativos diferentes, como los participantes en el estudio. Finalmente, sobre la base de estos resultados, se sugieren algunas posibilidades de actuación.

Palabras clave: Evaluación de la Física, Enseñanza de la Física, Comprensión de conceptos de Física, Educación preuniversitaria.

Abstract

Pre-university physics teaching should provide students with an adequate background to succeed in introductory university courses. This article examines the physics background of 2109 students entering seven universities of Argentina, Chile, Cuba, Spain and México. In particular, the understanding of several basic physics concepts and principles is examined using a test addressed to the measurement of comprehension and application objectives. Two main conclusions can be drawn from the findings of the study. First, the conceptual knowledge of the examined students is surprisingly poor, compared to the expectations about what these students should learn. Second, this poor knowledge is strikingly similar in students belonging to different educational systems, such as those participating in the study. Finally, some possibilities for action are suggested based on these results.

Keywords: Physics evaluation, Physics teaching, Physics concept understanding, Pre-university Education.

PACS: 01.40.G-, 01.40.Fk, 45.20.D-

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza preuniversitaria de la Física debería proporcionar una formación adecuada que sirviese como base del éxito en los primeros cursos universitarios. Sin embargo, se constatan las altas tasas de fracaso y abandono

que se dan en los estudios universitarios de muchos sistemas educativos de Iberoamérica y España. El análisis de los resultados del primer ciclo del plan de estudios implementado en el curso 1993-1994 en la Licenciatura de Física de la Universidad de Valencia (España) [1] mostró que los alumnos solamente habían aprobado un 56% del

total de créditos en los que se habían matriculado. Además, estas tasas de abandono y fracaso son mayores en los primeros cursos que en los últimos y se agrava de forma especial en las asignaturas introductorias de Física para otras especialidades. Otro estudio, realizado con alumnos de primer curso de la Universidad de Alcalá (UAH) y de la Universidad de Burgos (UBU), ambas en España, cuantificó el número de alumnos de Física aprobados en el conjunto de las convocatorias ordinaria (junio) y extraordinaria (septiembre): un 64% de los alumnos matriculados en la asignatura de Física de la Licenciatura en Medicina de la UAH, un 31% de los alumnos de la asignatura de Física de la Licenciatura en Biología de la UAH, y un 30% de los alumnos de Física de la Licenciatura en Química de la UBU [2]. La situación es similar en varios sistemas educativos iberoamericanos. Un estudio realizado en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad de Córdoba (Argentina) [3] señala que menos del 10% de los alumnos de las diez promociones consecutivas analizadas termina sus estudios en la Licenciatura en Física. Los obstáculos mayores aparecen en el primer curso, donde el abandono resulta del 50%. Estudios como los del FOMECA argentino (Fondo para el mejoramiento de la Calidad Universitaria) [4] y de otros investigadores [5, 6] llaman la atención sobre la necesidad de mejorar la enseñanza de la Física en todos los niveles, y buscan estrategias para resolver el problema [7, 8, 9, 10]. Se apunta también a la problemática existente en la enseñanza de las Matemáticas, que tanto influye en el rendimiento en Física [11]. Fuera del ámbito iberoamericano, en otros sistemas educativos como el norteamericano, existe una preocupación similar por el descenso del número de alumnos matriculados en cursos introductorios de Física, por la falta de persistencia en el estudio de la disciplina a lo largo de las licenciaturas y por el declive de las actitudes favorables hacia la Física y su estudio [12].

A la vista de estos resultados podemos preguntarnos si existen fallos en la formación de los alumnos que acceden a los cursos introductorios en la universidad, en particular en la comprensión de conceptos básicos de la Física, que puedan influir en este bajo rendimiento. Muchos autores han criticado la inadecuada comprensión de conceptos fundamentales de la Física por parte de los alumnos que acceden a carreras de ciencias en la universidad [13, 14, 15, 16, 17]. Las investigaciones sobre enseñanza de las ciencias destacan la importancia de la comprensión de los conceptos científicos básicos, así como del desarrollo de destrezas de pensamiento científico en los cursos introductorios de Física. Así, McDermott [18] incluye como capacidades que deberían ser desarrolladas por los alumnos en esta clase de cursos introductorios, una comprensión sólida de ciertos conceptos físicos básicos, ser capaces de razonar científicamente, o saber aplicar los conceptos físicos en el análisis e interpretación de fenómenos sencillos. Los grandes proyectos internacionales de evaluación como PISA [19, 20, 21, 22], TIMSS [23, 24] o el Bachillerato Internacional [25], llaman también la atención sobre la importancia de la comprensión y aplicación de conceptos científicos.

En este artículo se analiza precisamente la comprensión de algunos conceptos y leyes básicas de la Física por parte de alumnos que acceden a siete universidades de España e Iberoamérica. El análisis se enmarca en un estudio realizado a lo largo de tres años académicos en universidades de Argentina, Chile, Cuba, España y México. Este estudio incluye la prueba de comprensión que se describe en este artículo (junto con una medida de la capacidad de los alumnos para *controlar* esta comprensión) y otra en la que se examinan destrezas científicas importantes para el éxito en estos cursos introductorios (que no se incluye aquí por razones de extensión del trabajo). El propósito global del estudio es identificar deficiencias básicas en la formación en Física que impiden conseguir un buen rendimiento en los cursos introductorios de la universidad, aunque éste último también dependa, obviamente, de otros factores diferentes de esta formación inicial.

En el apartado que sigue se describen la prueba de comprensión y las muestras estudiantiles examinadas, con especial atención a las características del currículo de Física en los diferentes sistemas educativos. A continuación, se presentan los resultados referentes a algunos ítems de la prueba, reveladores de la situación en que se encuentran estos alumnos. Se analiza también la distancia existente entre las pretensiones de los sistemas educativos y los resultados que de hecho se obtienen. Finalmente, a partir de nuestros resultados, y de otros convergentes proporcionados por la investigación sobre enseñanza de las ciencias, proponemos algunas medidas de mejora de las competencias de los estudiantes de Física, así como de su percepción de la disciplina y su enseñanza.

II. QUÉ MEDIMOS Y CÓMO LO HACEMOS

A. Participantes

La Tabla I indica el número de alumnos participantes en cada una de las universidades, las carreras a las que pertenecen y los cursos académicos en que se realizó la prueba.

TABLA I. Características de los alumnos y cursos en que completaron la prueba de comprensión de conceptos básicos.

| Año Académico | Universidad | Número de alumnos | Estudios |
|---------------|--|-------------------|--|
| 2006-2007 | Nacional de San Luis (UNSL), Argentina | 60 | Profesorado de Matemáticas Biología. Matemáticas. Física |
| | Católica del Norte, Antofagasta (UCN), Chile | 393 | Ingeniería civil. Geología |
| | Santiago de Chile (USACH) | 107 | Ingeniería de ejecución |

Comprensión de conceptos básicos de la Física por alumnos que acceden a la universidad...

| | | | |
|-----------|--|-------------|---------------------------------------|
| | Alcalá (UAH), España | 56 | Biología |
| 2008-2009 | Nacional de San Juan (UNSJ), Argentina | 40 | Ingeniería |
| | Pinar del Río (UPR) (Cuba) | 48 | Ingeniería agrónoma |
| | Tecnológico de Monterrey (TEC), México | 1405 | Diversas especialidades de Ingeniería |
| | <i>Total</i> | <i>2109</i> | |

Chile, Cuba, México y España, ordenados desde el año académico 1° (6 años de edad) hasta el 12° (17 años de edad). En la Argentina, la Física se comienza a estudiar separadamente a los 15 años (10°) y, en función de la especialidad del nivel "Polimodal", se imparte durante uno o dos cursos. Pero no se estudia en el curso previo a la Universidad, con lo cual los alumnos que participaron en el diagnóstico llevaban más de un año sin contacto con la disciplina. En el caso de UNSJ, la mayoría de los alumnos (88%) proceden de escuelas de tipo técnico con especialización en Electrónica, en donde cursan dos asignaturas de Física. Ello debe considerarse en la interpretación de algunos de los resultados de la prueba, como se indica más adelante.

En la Tabla II se presentan las correspondencias entre los diferentes niveles educativos preuniversitarios en Argentina,

TABLA II. Esquema de los Sistemas Educativos en Argentina, Chile, Cuba, México y España.

| | NIVEL ACADÉMICO | | | | | | | | | |
|--|---|-------|-------------------------------|---|------------------|---|--|--|--|-----|
| Año académico | 1° - 3° | 4° | 5° | 6° | 7° | 8° | 9° | 10° | 11° | 12° |
| Edad del alumno | 6 a 8 años | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| ARGENTINA¹ (ley vigente durante proyecto) | EGB 1 | EGB 2 | | | EGB 3 | | | POLIMODAL | | |
| Asignaturas científicas | Ciencias Naturales (principalmente Biología) | | | | Física y Química | Química | Según Escuela, 1 ó 2 cursos de Física. 4h/semana | | No hay Física | |
| CHILE | EDUCACIÓN BÁSICA | | | | | ENSEÑANZA MEDIA | | | | |
| Asignaturas científicas | Estudio y Comprensión de la Naturaleza (estudio integrado de todas las ciencias). 4 h (45 min.)/semana. | | | | | Física. Obligatoria 3h (45 min.)/semana | | Común – Eligen 2 entre Biología, Física y Química. 2h (45 min.)/semana Área – Física obligatoria en la opción de matemáticas. 3h (45 min.)/semana | | |
| CUBA | ENSEÑANZA BÁSICA | | | SECUNDARIA BÁSICA | | | PREUNIVERSITARIO | | | |
| Asignaturas científicas | El mundo en que vivimos 1h (45 min.)/semana. (estudio integrado todas las ciencias) | | Ciencias Naturales 1h/ semana | Ciencias Naturales 7°- 3h/sem, (sin Física) 8° y 9°- 4h/sem. (estudio integrado de Biología, Geología, Física y Química). Obligatoria | | | Física Total: 92h (4h/sem.) | Física Total: 138h (3h/sem.) | La Física se imparte diferencialmente en dependencia de la carrera universitaria elegida por el alumno | |
| ESPAÑA | EDUCACIÓN PRIMARIA | | | ENSEÑANZA SECUNDARIA OBLIGATORIA (1° - 4° ESO) | | | BACHILLERATO (1° - 2°) | | | |
| Asignaturas científicas | Conocimiento del medio (estudio integrado de todas las Ciencias, Sociales y Experimentales). Obligatoria. | | | Ciencias de la Naturaleza (estudio integrado de Biología, Geología, Física y Química). Obligatoria. 3h/semana | | | Física y Química. Optativa. 4h/sem. | Física y Química Obligatoria en Bach. científico (sanitario o técnico) 3h/semana | Física (Obligatoria en Bachillerato técnico) 4h/semana | |
| MEXICO | EDUCACIÓN PRIMARIA | | | EDUCACIÓN SECUNDARIA | | | PREPARATORIA | | | |
| Asignaturas científicas | Ciencias naturales con énfasis en Biología | | | Biol. | Física | Química | En la mayoría de las preparatorias hay al menos tres cursos semestrales de ciencias (Física, Química y Biología). En otras más orientadas a Ciencia y Tecnología se llega hasta 12 cursos semestrales (cuatro de cada área). | | | |

¹ Es preciso señalar que la organización del sistema educativo argentino que se describe en la Tabla II corresponde a los estudios realizados por los alumnos participantes en nuestro trabajo. Es anterior a la reorganización basada en la nueva Ley de Educación Nacional, recientemente aprobada en ese país.

En Chile, la Física está incorporada a Estudio y Comprensión de la Naturaleza (estudio integrado de todas las ciencias), dentro de la enseñanza básica: en 7° año se estudia el modelo corpuscular y las propiedades de los gases, y en 8° año cambio y conservación en procesos naturales, y procesos evolutivos en la Tierra y en el Universo. También se imparte en el 1° y 2° año de Enseñanza Media, que corresponde al 9° año académico y 10° año académico. Lo anterior supone que todos los alumnos han estudiado Física (mecánica, calor y electricidad) hasta los 16 años de edad. Los alumnos que se inclinan por los estudios científicos, pueden tomar cursos electivos de Física en 3° y 4° año de la Enseñanza Media.

En Cuba, desde la enseñanza primaria se estudian conocimientos de las diferentes ciencias (incluida la Física) integradas en asignaturas como “El mundo en que vivimos” y “Ciencias Naturales”. En la Enseñanza Secundaria Básica se estudia integrada con Química, Biología y Geología durante 8° y 9° (sin embargo no se estudia Física en 7°). En el año 12° la Física se imparte de manera diferenciada en dependencia de la carrera que elige el estudiante. Aquéllos que optan por carreras de Ciencias, Ingeniería y Matemáticas reciben un total de 196 h (5h/semana) y los que optan por carreras de Profesorado 81h (3h/semana). Desde la última década del siglo pasado, en la enseñanza preuniversitaria se han eliminado temas de Física que son importantes para carreras de Ingeniería, como el estudio de los fluidos, por citar un ejemplo.

En España, la Física es obligatoria hasta el tercer año de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) (9°, 14/15 años de edad), en donde se imparte integrada con la Química. En los tres años restantes se convierte en una asignatura optativa, que solamente se imparte de forma diferenciada en 2° de Bachillerato (12°).

En México, la Física es obligatoria para todos los alumnos en el segundo año de educación secundaria (8°). Es común que los estudiantes que ingresan a las universidades hayan estudiado al menos un curso de Física, Química y Biología en el nivel secundario, ya que solamente los alumnos de las ramas humanística o administrativa están liberados de cursar dichas asignaturas (quizá pueden recibir un curso de Biología).

En todas las universidades los estudiantes han de superar una prueba de acceso, pero su contenido difiere de unas a otras. En las universidades argentinas, la prueba depende de la propia Universidad; así en la UNSL se aplica solamente una prueba de Matemáticas, mientras que en la UNSJ se aplica, además de la prueba de Matemáticas, una prueba de comprensión lectora de textos: en ningún caso se incluyen temas de Física.

Actualmente la Física no se contempla en las pruebas de ingreso a la universidad en Cuba. En años anteriores se realizaban las llamadas Pruebas de Ingreso para acceder a las carreras universitarias, atendiendo al perfil de cada carrera.

En Chile y en España existe una prueba nacional. La Prueba de Selección Universitaria (PSU) de Chile mide la capacidad de razonamiento de los postulantes egresados de la Enseñanza Media y consta de las pruebas: a) Lenguaje y Comunicación, b) Matemática, c) Historia y Ciencias Sociales y d) Ciencias, que incluye Biología, Física y Química. Matemática y Lenguaje y Comunicación son obligatorios, y el alumno puede elegir entre las dos restantes. Con este planteamiento, puede darse el caso de alumnos que accedan a estudiar carreras científicas en la universidad, sin haber superado una prueba de Física en la PSU.

Las Pruebas de Acceso a la Universidad (PAU) de España son similares a las de Chile. Una parte corresponde a las materias comunes de Bachillerato e incluye un análisis de texto y un tema de tipo histórico o filosófico. La otra parte versa sobre dos de las materias obligatorias y una de las materias optativas de la vía de bachillerato (últimos dos años de la enseñanza secundaria) que haya cursado el alumno. Solamente los alumnos de la vía científico-técnica han de completar una prueba de Física en la PAU y, dada la forma de calificación, pueden superar el acceso sin haber aprobado dicha prueba. En la actualidad, las pruebas de acceso se encuentran en proceso de reforma.

En México, como en Argentina, las pruebas dependen de cada universidad. En la universidad participante en este estudio, el Tecnológico de Monterrey, la prueba consta de dos partes diseñadas para medir la habilidad para el razonamiento verbal y para el razonamiento matemático de los estudiantes. Además de la prueba de admisión, los estudiantes realizan exámenes de Español, Matemáticas, Inglés, Computación y, en el caso de las ingenierías, de Física. El objetivo de este examen es colocar a los estudiantes en los primeros cursos de cada disciplina o en cursos introductorios (“remediales”) para uniformizar sus competencias de partida.

B. Instrumento de medida

La prueba utilizada sirve para examinar la comprensión de conceptos físicos y matemáticos necesarios para el estudio de la Física en los cursos introductorios de la universidad. Incluye preguntas, tomadas de otras investigaciones, destinadas a medir la consecución de objetivos en las categorías de comprensión y aplicación de la taxonomía de Bloom [26]. De esta forma utilizamos instrumentos ya validados, y que permiten la comparación con resultados obtenidos por otros investigadores, en otros sistemas educativos.

La prueba utilizada consta de 5 preguntas de Matemáticas y 8 preguntas de Física. Las primeras fueron diseñadas específicamente para este estudio, pero están basadas en los resultados obtenidos en otras cuestiones utilizadas en un estudio anterior [2]. Las segundas fueron

tomadas de pruebas como *Force Concept Inventory* [27], *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test* [28], *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* [29], o de trabajos sobre fuerza y energía (prueba utilizada por Bliss, Morrison y Ogborn [30], modificada por Hierrezuelo y Montero [31]), movimiento vertical [32] o circuitos eléctricos [33]. Como se ha indicado, en este artículo presentamos un subconjunto representativo de los resultados obtenidos en la aplicación de la prueba.

Por otra parte, la investigación educativa ha puesto de manifiesto que las capacidades metacognitivas son importantes predictores del rendimiento escolar [34]. Por eso, una parte de la prueba se dirige a indagar sobre aspectos metacognitivos del conocimiento estudiantil. En particular se pretende conocer el grado en que los sujetos controlan su propia comprensión solicitando una puntuación de seguridad en la respuesta. La escala se extiende desde 1 (muy poca seguridad en que la respuesta sea correcta) hasta 4 (mucha seguridad en que la respuesta sea correcta). El nivel de control de la comprensión del grupo examinado se estima por la diferencia en las puntuaciones medias de seguridad entre los alumnos que contestan correctamente y los que contestan incorrectamente. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la capacidad de control de la comprensión del grupo en su conjunto.

C. Procedimiento

La prueba se aplicó al principio del primer año universitario, en las universidades chilenas, mexicana, cubana y española, durante las horas de clase de la asignatura de Física, y sin ningún aviso previo. Los alumnos de Biología de la UNSL realizaron la prueba en su segundo año universitario (habiendo estudiado anteriormente asignaturas de Cálculo, Química y Biología) y los de la UNSJ la completaron en el segundo semestre del primer año (ya que para cursar la asignatura de Física se requiere haber aprobado una asignatura de Cálculo en el primer cuatrimestre). Pero la aplicación siempre estuvo asociada a la primera asignatura de Física que encontraban en sus estudios universitarios.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

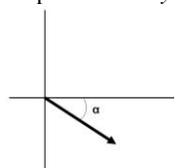
A. Conceptos matemáticos

Las primeras preguntas de la prueba se refieren a competencias matemáticas básicas. En la figura 1 se presenta el contenido de tres de estas preguntas: el cálculo de las componentes de un vector en el plano, el reconocimiento de la ecuación de una recta y la comprensión de la interpretación geométrica de la derivada. Los porcentajes de respuestas correctas se presentan en la Figura 2.

El porcentaje de alumnos que son capaces de calcular correctamente las componentes de un vector, cuando se proporciona el módulo y el ángulo que forma con el eje de las x , resulta bajo en la UCN, UAH y UPR (Figura 2). En el

caso del TEC, con un valor intermedio del 42%, hay que destacar que se trata de un tema muy común en la Física del nivel secundario en México (años académicos 10°-12°). Sólo los alumnos de la UNSL y USACH alcanzan un rendimiento en torno al 60% de respuestas correctas. En el caso de la UNSL, este resultado seguramente estuvo influenciado porque los alumnos de Biología habían seguido un curso universitario de Matemáticas previo a esta prueba, lo mismo que en la UNSJ. Los alumnos de la muestra de la USACH tuvieron un curso propedéutico, anterior a la rendición de la prueba de diagnóstico, que duró alrededor de una semana y donde se desarrolló, entre otros, el tema de vectores.

Pregunta 1 La magnitud (módulo) del vector de la figura es 8 y forma un ángulo de -30° con el eje X. Los valores de sus componentes x e y son:



a) $x = 4$ $y = -4\sqrt{3}$

b) $x = 4\sqrt{3}$ $y = -4$

c) $x = 8\sqrt{3}/3$ $y = 8\sqrt{3}$

d) $x = 8\sqrt{3}$ $y = -8\sqrt{3}/3$

e) ninguna de las anteriores

Datos: $\text{sen } 30^\circ = 1/2$, $\text{cos } 30^\circ = \sqrt{3}/2$

Pregunta 2 La ecuación de la recta de la figura es:



a) $y = \frac{1}{2}x + 1$

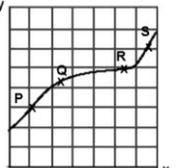
b) $y = x + \frac{1}{2}$

c) $y = 2x + 1$

d) $x = \frac{1}{2}y + 1$

e) Ninguna de las anteriores

Pregunta 3 La relación entre los valores de la derivada (y') de la función en los puntos que se representan en la figura es:



a) $y'_S > y'_R > y'_Q > y'_P$

b) $y'_S > y'_P > y'_R = y'_Q$

c) $y'_R < y'_Q < y'_P < y'_S$

d) $y'_P = y'_S > y'_Q > y'_R$

e) Se necesita conocer la función en cada punto

FIGURA 1. Preguntas relativas a conceptos matemáticos.

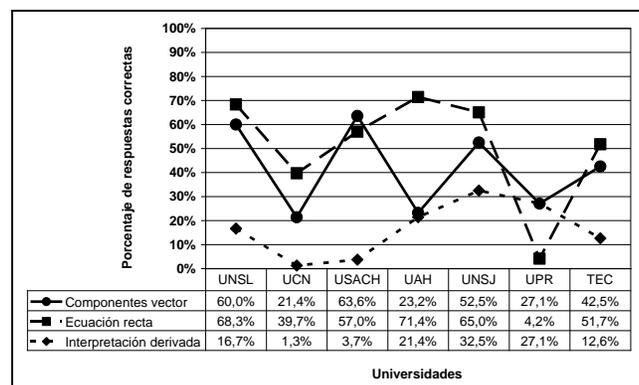


FIGURA 2. Porcentaje de respuestas correctas en las preguntas sobre conceptos matemáticos.

Las respuestas a la pregunta sobre el significado geométrico de la derivada son especialmente malas para los alumnos de las universidades chilenas. Estos resultados pueden explicarse por la ausencia del concepto de límite y derivada en los contenidos mínimos de los programas de Enseñanza Media, aunque es posible que en un número pequeño de centros educativos se traten estos contenidos. Debe notarse, además, que estos conceptos tampoco se estudian en el sistema educativo cubano donde, sin embargo, los resultados son mejores. En el caso de México, los estudiantes no necesariamente cursaron cálculo antes de ingresar a la universidad y, si lo hicieron, el significado geométrico de la derivada tampoco es un objetivo común en esas clases. Sin embargo, aunque los estudiantes de la UNSJ y los de la carrera de Biología en la UNSL habían seguido, antes de la prueba, un curso universitario de Matemáticas, como se indica más arriba, sus respuestas correctas a esta pregunta apenas superan el 30%. Los alumnos españoles de la UAH tampoco consiguen buenos resultados, aun cuando el concepto de derivada se estudia en los dos últimos años de la enseñanza secundaria (bachillerato).

En cuanto a los distractores elegidos por los alumnos que contestan incorrectamente a esta pregunta, se encuentra que el elegido con mayor frecuencia es el a , con un 50% del total de alumnos. Ello indica una preferencia por ordenar los valores de la derivada correspondiendo directamente a los valores de la función.

En cuanto a la ecuación de la recta, que es de utilización imprescindible en la Física, los resultados son especialmente pobres en la UCN y la UPR, al ser reconocida por menos del 40% de los alumnos. Es de destacar que la geometría analítica es un contenido incluido en los cursos de la enseñanza secundaria chilena. Además, los alumnos chilenos han tenido que superar una prueba nacional de ingreso a la universidad. En el caso de México, es importante señalar que el porcentaje de respuestas correctas queda reducido por los alumnos que no superaron el examen de ubicación descrito anteriormente y tuvieron que pasar por el curso de recuperación; los alumnos que pasaron directamente al primer curso tienen un rendimiento de 0.76 en esta pregunta. Con respecto a los resultados de los estudiantes argentinos, es preciso recordar que todos los de la UNSJ y los de Biología de la UNSL han estudiado asignaturas de Matemáticas en la universidad previamente a la realización de la prueba.

La comprensión de conceptos matemáticos básicos para la Física: conclusiones

¿Cómo pueden interpretarse los resultados anteriores? Los alumnos carecen de algunos recursos necesarios para iniciar el estudio de las asignaturas introductorias de Física en la universidad: rudimentos del cálculo vectorial, como el cálculo de las componentes de un vector, conocimiento de la ecuación de una línea recta, necesaria para la comprensión de relaciones lineales en Física, o interpretación geométrica de la derivada, necesaria para la comprensión de los procesos de cambio. Pero, al mismo tiempo, los programas de Matemáticas de la educación secundaria en España y los

países iberoamericanos analizados, incluyen objetivos y temas como: “*Producto interno (escalar) entre vectores del plano. Producto interno y vectorial en el espacio*” (Contenidos Básicos Comunes Polimodal Matemática, 2000, pág 67), “*Aplicación de los conceptos de continuidad y derivada a la resolución de problemas que involucren cálculo de pendiente, tangentes y normales de una curva en un punto, velocidad de un móvil, tasas de cambio instantánea y relativa* (CBC Polimodal Matemática, 2000, pág 64) en Argentina [35]; “*Vectores en el plano, aplicaciones a situaciones de la vida diaria*”(programa de Matemáticas I Medio, 2000, pág.21) en Chile [36]; “*Utilizar el cálculo de derivadas como herramienta para obtener conclusiones acerca del comportamiento de una función y resolver problemas de optimización extraídos de situaciones reales de carácter económico o social*” (programa de Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales de 2º Bachillerato, 2007, pág. 96) o “*Vectores en el espacio tridimensional. Productos escalar, vectorial y mixto. Significado geométrico*” (programa de Matemáticas II, 2007, pág. 70), “*Aplicar el concepto y el cálculo de límites y derivadas al estudio de fenómenos naturales y tecnológicos y a la resolución de problemas de optimización*” (programa de Matemáticas II, 2007, pág. 71) en España [37]. Los alumnos de la UNSJ y la UNSL que participaron en la prueba cursaron un semestre previo de cálculo matemático con contenidos como límite, derivada, diferencial, integral y series. Por tanto, los resultados muestran la distancia existente entre las previsiones de los currículos oficiales y el aprendizaje real de los alumnos sobre estos contenidos básicos.

Los resultados ponen de manifiesto, además, algunas características indeseables de las estrategias utilizadas por los alumnos para responder a las preguntas de la prueba. Una de estas estrategias se pone de manifiesto al analizar la elección de distractores en la representación gráfica de la derivada. Los sujetos escogen preferentemente el distractor correspondiente a la relación más obvia e inmediata entre los puntos PQRS: aquel en el cual se ordenan de acuerdo con el valor de la variable y . Parece haber un procesamiento que atiende a características superficiales de la información y que conduce a este error: se utiliza el valor de la ordenada, mas obvio, en lugar de estimar el valor de la pendiente. Ésta, además, es una dificultad característica que Beichner [38] apunta en la interpretación de las gráficas de cinemática, en donde los estudiantes confunden posición con velocidad o velocidad con aceleración. El análisis de estas dificultades ha conducido al desarrollo de estrategias de enseñanza sumamente efectivas para superarlas [38, 39].

B. Conceptos de Mecánica

En la prueba se incluyeron preguntas relativas al concepto de aceleración, comprensión de la segunda y tercera ley de la dinámica, y distinción de los conceptos de fuerza y energía. En la Figura 3 se muestran los contenidos de las preguntas relativas al concepto de aceleración y a las leyes de la dinámica, tomadas del FCI [27]. A continuación nos referimos a los resultados correspondientes a estas preguntas (Figura 4).

Debe notarse que la aceleración es un concepto básico incluido en el currículo de Física del nivel secundario de todos los países participantes. En Argentina se estudia dentro de la Mecánica de 8° (13 años) y nuevamente se aborda el tema en la educación Polimodal (16 años). En Chile, el concepto de aceleración se introduce en 2° Medio (15 años) y conceptos como el de aceleración centrípeta se estudian ya dentro de la Mecánica de 3° Medio (16 años). En Cuba se comienza a estudiar la cinemática reconociendo su relatividad y considerándolo como un fenómeno cuyas propiedades se cuantifican a través de magnitudes como distancia, tiempo, velocidad y aceleración; desde el 8° año hasta el 12° año se estudia este contenido siguiendo con grados crecientes de complejidad al integrarlo con la dinámica y las leyes de conservación de la energía.

Pregunta 5. Que la aceleración de una partícula que se mueve en línea recta tenga un valor constante de 5 m/s^2 , significa que:

- En cada segundo recorre 5m.
- En cada segundo su aceleración aumenta en 5 m/s^2
- En cada segundo su rapidez aumenta en 5 m/s .
- En 5 segundos su rapidez aumenta en 1 m/s .
- Su rapidez es constante e igual a 5 m/s .

Pregunta 6. 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:

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

Pregunta 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:

- la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- 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.
- 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.

FIGURA 3. Preguntas relativas al concepto de aceleración, 2ª y 3ª leyes de la Dinámica.

En España se trata en tres cursos de la enseñanza secundaria y se realiza un alto número de ejercicios sobre el mismo. También en México el tema de la cinemática se trata de forma recurrente en los cursos de Física, tanto en secundaria (8°) como en preparatoria (10°-11°), lo que explica la proporción de alumnos que llegan a comprender el significado de la aceleración. Sin embargo, los resultados obtenidos ponen de manifiesto, de nuevo, el contraste entre las previsiones oficiales del currículo y el aprendizaje obtenido por los alumnos participantes en nuestro estudio.

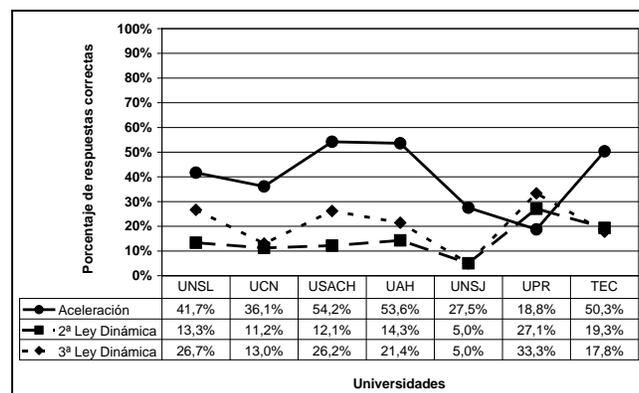


FIGURA 4. Porcentaje de respuestas correctas en las preguntas sobre aceleración y leyes de la Dinámica.

En la pregunta sobre la segunda ley de la dinámica, el porcentaje de respuestas correctas solo supera el 20% en la UPR y se acerca a dicho valor en el TEC. El distractor elegido por un mayor porcentaje de sujetos (32%) es el *e*, señalando que la fuerza aplicada debe superar también el peso de la caja (Figura 5). Sigue en las preferencias el distractor *d* (29%) que representa la opción correspondiente a la concepción pre-newtoniana de que se necesita una fuerza para mantener un cuerpo en movimiento rectilíneo uniforme [13, 27, 31, 40, 41, 42]. Nótese que la idea de que la fuerza aplicada debe ser preponderante es manifestada por más del 60% de los alumnos.

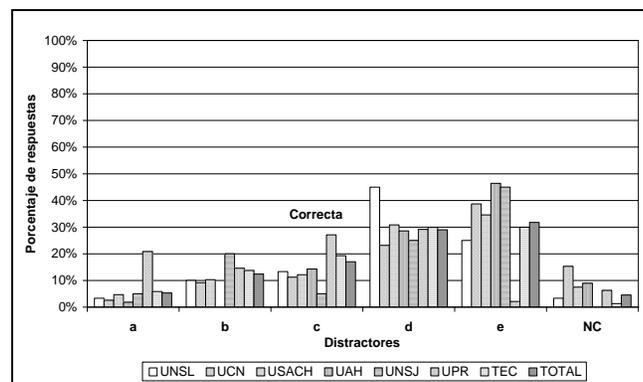


FIGURA 5. Distractores seleccionados por los alumnos en la pregunta sobre la segunda ley de la Dinámica.

También en el principio de acción y reacción se refleja una marcada concordancia de resultados entre las universidades. Los porcentajes de respuestas correctas no superan nunca el 33%. El distractor favorito, tomado por el 56% de los alumnos, es el *c*: la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión, en el sentido del movimiento, es mayor que la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil. Este resultado confirma los encontrados por otros investigadores sobre el tema [43, 44] y remarcan la persistencia de los modelos alternativos que asignan mayor fuerza a los objetos más grandes o que son más activos [27], o su equivalente en el esquema de primitivos fenomenológicos de Di Sessa [45].

Fuerza y Energía

Para analizar el nivel de discriminación de los conceptos de Fuerza y Energía de los estudiantes se tomó una pregunta de Bliss, Morrison y Ogborn [30], empleada ya con alumnos españoles de Educación Secundaria por Hierrezuelo y Montero [31] (Figura 6).

Pregunta 8 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:

8.1. ¿En qué caso ejerce el hombre más fuerza?
 En A En B Igual en los dos casos

8.2. ¿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

FIGURA 6. Preguntas sobre Fuerza y Energía.

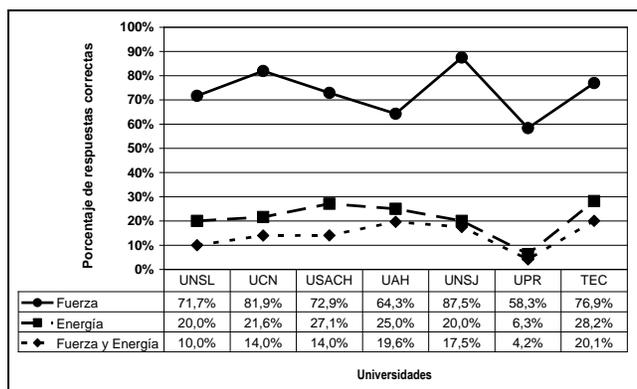


FIGURA 7. Porcentaje de respuestas correctas en las preguntas sobre Fuerza y Energía.

En la figura 7 se presentan los porcentajes de respuestas correctas a la pregunta relativa a la fuerza y a la pregunta

relativa a la energía, así como el porcentaje de estudiantes que responde correctamente ambas preguntas, demostrando una discriminación científica entre ambos conceptos. La primera resulta más sencilla para los alumnos que la segunda. En el caso de la energía, un 43% del total de alumnos opta por la opción *b* (la opción correcta para la pregunta sobre la fuerza) y otro 28% opta por la opción *a*. Tal vez, recordando la expresión del trabajo mecánico, consideran que a mayor distancia recorrida, mayor energía.

La Figura 7 también muestra el bajo porcentaje de alumnos que responden correctamente ambas preguntas. Sin embargo, el concepto de energía mecánica se estudia en el nivel secundario de todos los países participantes: en 8° (EGB 3, integrado en Ciencias Naturales) y 10° (1° Polimodal) en la Argentina, en 10° y 11° (2° y 3° Medio) de Chile, a partir de 8° y 9° y en el nivel preuniversitario en Cuba, a partir de 10° (4° ESO) en España y en el 10° y 11° (1° o 2° de Preparatoria) en México.

Los resultados no sorprenden cuando se comparan con los obtenidos en otros estudios sobre el tema. Bliss, Morrison y Ogborn [30] encontraron que un 45% de los estudiantes del nivel secundario no era capaz de aplicar correctamente el concepto de energía en una situación como la de la prueba. Consideraban, también, que la energía era menor en la rampa con menor inclinación, despreciando la distancia recorrida. Hierrezuelo y Montero [31] encontraron la misma confusión en el 36% de una muestra de alumnos españoles de 2° BUP (10° año académico) que seguía un curso tradicional de Ciencias.

Fuerza y movimiento vertical

Una pregunta tomada de Watts y Zylbersztajn [32] explora la comprensión de la relación entre la fuerza que actúa y el movimiento resultante (Figura 8).

Pregunta 9. 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).

9.1. La pelota ha sido lanzada y está subiendo, ¿qué flecha mostrará la **fuerza** sobre la pelota?
 9.2. Si la pelota está parada en el punto más alto de su recorrido, ¿con qué flecha se muestra la **fuerza** sobre la pelota?
 9.3. Si la pelota está ya cayendo, ¿con qué flecha se muestra la **fuerza** sobre la pelota?

FIGURA 8. Preguntas sobre Fuerza y movimiento vertical.

En la Figura 9 se presentan los resultados del análisis conjunto de las tres situaciones presentadas en la pregunta. Menos del 13% de los alumnos ha adquirido el modelo científico, es decir, menos de ese porcentaje selecciona la

opción correcta *a* en los tres casos. Entre el 44% y el 65% contesta de acuerdo con el modelo del *impetus*: la fuerza tiene la misma dirección y sentido que la velocidad, como se observaba en las contestaciones a la pregunta sobre la 2ª ley de la Dinámica (con la excepción de los alumnos de la UPR cuyas respuestas no se agrupan en ningún modelo determinado). Aparecen otros dos modelos, pero sus porcentajes no superan el 10%: un modelo *ascendente* (la fuerza coincide con la gravedad, salvo cuando el cuerpo sube) y otro de *reposo* (la fuerza coincide con la gravedad, salvo cuando el cuerpo llega a su cúspide, momento en que la fuerza se anula).

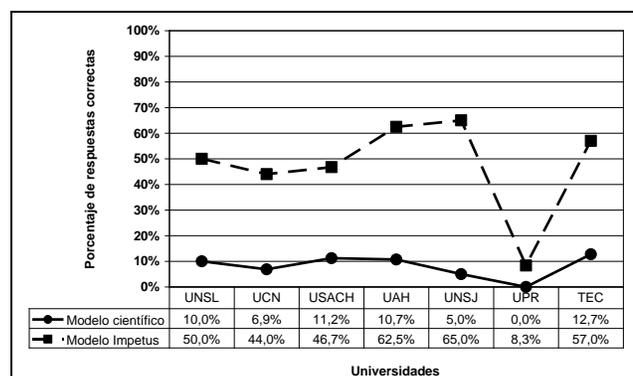


FIGURA 9. Modelos mantenidos por los alumnos respecto al movimiento vertical de los cuerpos.

Resultados similares han sido encontrados en investigaciones sobre alumnos de educación secundaria [32, 33] y de universidad [14, 41]. La idea pre-newtoniana de que “cada movimiento tiene una causa” es resistente al cambio, especialmente si el movimiento se realiza con una fuerza en oposición. Sebastián [42], Carrascosa [46] y Acevedo [47] han confirmado la persistencia de estos esquemas alternativos en alumnos españoles desde 2º BUP (10º año académico) a graduados universitarios. Para Viennot [40] los alumnos mantienen dos registros de razonamiento funcionando simultáneamente: (1) *Fuerzas de interacción* que verifican la segunda ley de Newton y se utilizan para interpretar el movimiento cuando se realiza en el mismo sentido que la fuerza aplicada, y (2) *Fuerzas del objeto* que cumplen una relación $\vec{F} = cte \cdot \vec{v}$ y actúan cuando el cuerpo tiene un movimiento que resulta incompatible con las fuerzas de interacción existentes. Esta noción tiene un carácter híbrido entre fuerza y energía que es atribuida al objeto y es susceptible de ir consumiéndose.

C. Conceptos de electricidad

La prueba incluía tres preguntas sobre conceptos eléctricos: dos sobre circuitos y una sobre la ley de Coulomb (Figuras 10 y 12).

Circuitos eléctricos

La pregunta 10 [33] explora el modelo de corriente que mantiene el estudiante. Las opciones más frecuentes, con *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 3, Sept. 2010*

pequeñas diferencias entre si, son las *c* y *d*. Se observa que solamente un 36 % del total de alumnos tiene asimilado el *modelo científico* (Figura 11). Un porcentaje similar (38%), con pocas diferencias entre universidades, elige el *modelo de gasto* (distractor *c*): la intensidad de la corriente va disminuyendo a medida que “circula por los diferentes elementos del circuito”. E, incluso, un 16% sigue adhiriéndose al *modelo concurrente*: la corriente sale de ambos polos y “choca” en la bombilla. Estos modelos alternativos surgen de la utilización por el alumnos de un *razonamiento secuencial* para el análisis de los circuitos: un elemento no modifica la corriente que entra en él, solamente afecta a la que sale de él [48] y, por tanto, cuánto más lejos de la batería, menor intensidad de corriente.

Pregunta 10. 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:

Pregunta 11. En el circuito de la figura las dos bombillas son idénticas. Ordene de MAYOR a MENOR las intensidades de corriente en los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

- $5 > 3 > 1 > 2 > 4 > 6$
- $5 > 3 > 1 > 4 > 2 > 6$
- $5 = 6 > 3 = 4 > 1 = 2$
- $5 = 6 > 1 = 2 = 3 = 4$
- $1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6$

FIGURA 10. Preguntas sobre Circuitos eléctricos.

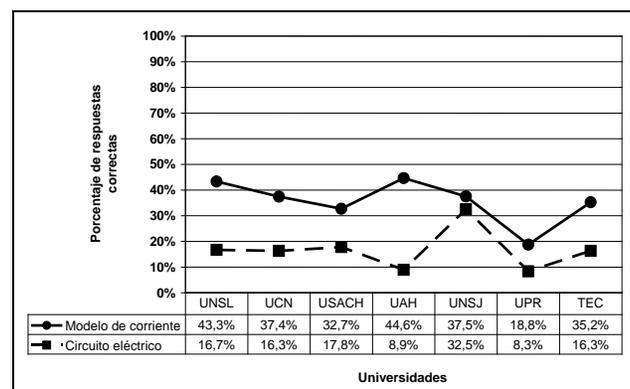


FIGURA 11. Porcentaje de respuestas correctas en las preguntas sobre Circuitos eléctricos.

En el circuito en paralelo, el porcentaje de respuestas correctas queda por debajo del 18% en todas las universidades, excepto la UNSJ que alcanza el 32% (Figura 11). Es preciso señalar que la muestra de la UNSJ está constituida por alumnos procedentes de Escuelas Industriales, lo que explicaría los mejores resultados. Pero también en este grupo sería esperable encontrar un

porcentaje más elevado de respuestas correctas. Es posible que el estudio más extenso de los circuitos eléctricos, realizado por estos alumnos, haya sido, sin embargo, de poca profundidad conceptual. Los distractores *c* y *e* fueron los más seleccionados. La selección del distractor *c* puede explicarse por la utilización del *razonamiento secuencial* ya mencionado. Tampoco sorprenden estas contestaciones incorrectas al compararlas con otros resultados de la investigación sobre concepciones alternativas de los estudiantes de Ciencias. Shipstone [49] en un estudio sobre circuitos eléctricos, realizado con estudiantes de 12 a 17 años, encontró dos variantes del *modelo de gasto*: una corresponde al *modelo de atenuación* (la intensidad disminuye al atravesar los diferentes elementos del circuito), mientras la otra responde a un *modelo de reparto*, en que la intensidad se reparte equitativamente entre los elementos. Por otro lado, en una investigación con estudiantes universitarios de ingeniería, Salinas, Cudmani y Pessa [17] encuentran también que un 40% distingue el comportamiento de los componentes que están “antes de” y “después de” el elemento modificado, según el sentido de circulación de la corriente.

Ley de Coulomb

Esta pregunta, tomada del CSEM [29], requiere la aplicación de la ley de Coulomb en tres situaciones que implican variación de una de las cargas o de la distancia entre ellas (Figura 12).

Pregunta 12. Dos objetos pequeños cada uno con un exceso de carga +Q ejercen uno sobre el otro una fuerza de magnitud (módulo)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \cdot Q}{r^2}$$


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



12.1. 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

12.2. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza sobre la carga de +4Q?

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

12.3. 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 12. Preguntas sobre la ley de Coulomb.

En la figura 13 se presenta el porcentaje de respuestas correctas para cada una de las preguntas efectuadas sobre la ley de Coulomb. El porcentaje de estudiantes que responden correctamente a las tres cuestiones no supera el 16% en ninguna de las universidades. Un 47% del total de alumnos responde correctamente a la pregunta acerca de la fuerza sobre Q, cuando la otra carga toma ahora el valor 4Q. Cuando se pregunta cuál es la fuerza sobre la carga 4Q, el porcentaje de respuestas correctas desciende a un 31%. Los resultados ponen de nuevo en evidencia la incompreensión del principio de acción y reacción.

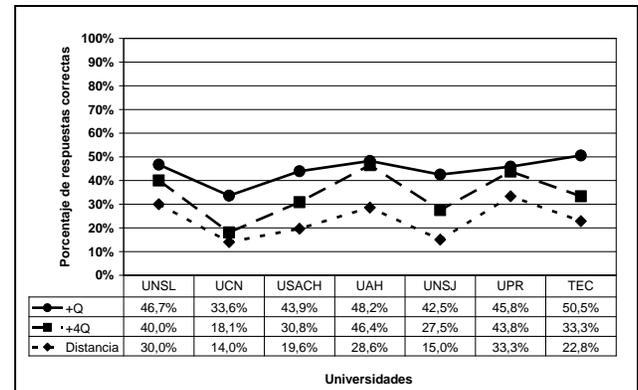


FIGURA 13. Porcentaje de respuestas correctas en las preguntas sobre la Ley de Coulomb.

Cuando se pregunta por el valor de la fuerza al multiplicar por tres la distancia entre las cargas, el porcentaje total de respuestas correctas desciende hasta el 22%. El análisis de distractores indica la existencia de una opción errónea tan elegida como la propia correcta: un 28% señala que la fuerza disminuye también hasta 4F/3 (distractor *d*), sin tener en cuenta que la fuerza varía con el cuadrado de la distancia. También se da un 23% de alumnos que no responden.

Hay que destacar que esta pregunta no requiere el conocimiento explícito de la ley de Coulomb, ya que se proporciona la ecuación matemática que relaciona las variables implicadas. Por ello, los datos resultan importantes más allá de su valor específico dentro de la Electroestática. Indican la incapacidad de estos estudiantes de comprender conceptualmente y manejar prácticamente una relación algebraica con proporcionalidades directas e inversas, cuya utilización es habitual en otros campos de la Física enseñada en este nivel.

D. Seguridad en las respuestas

Como se ha mencionado al describir el instrumento de medida, en cinco de las preguntas se solicitaba del alumno que señalara su grado de seguridad en la respuesta que daba: significado geométrico de la derivada (pregunta 3), concepto de aceleración (pregunta 5), 3ª ley de la Dinámica (pregunta 7), concepto de energía (pregunta 8.2), circuito eléctrico (pregunta 11) y aplicación de la ley de Coulomb cuando se varía la distancia (pregunta 12.3). Para simplificar la presentación de resultados, se han cuantificado asignando

el valor 1 a la afirmación de “Muy poca seguridad” y 4 a “Mucha seguridad”. Aunque los valores declarados por los estudiantes solamente impliquen una escala ordinal, se presentan valores medios para comparar la seguridad de los alumnos que contestan bien y de los que contestan mal: una mayor diferencia entre las medias de seguridad de los “correctos” y de los “incorrectos”, corresponde a una mejor actuación de los sujetos desde el punto de vista del control de la comprensión. Las diferencias se analizaron estadísticamente mediante una prueba Chi-cuadrado.

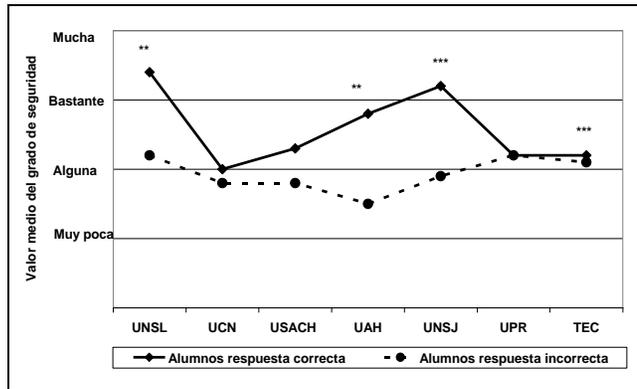


FIGURA 14. Seguridad en la respuesta. Interpretación geométrica de la derivada (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

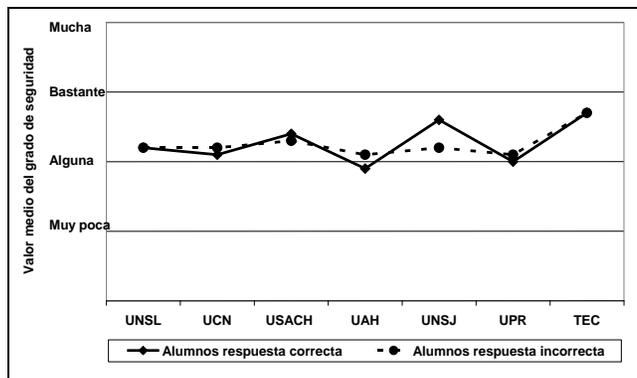


FIGURA 15. Seguridad en la respuesta. Conceptualización de la energía (P8.2).

En la Figura 14 se presentan los resultados correspondientes a la pregunta sobre el significado geométrico de la derivada (P3) y en la Figura 15 los resultados correspondientes a la pregunta sobre energía (P8.2). Para la primera pregunta, las diferencias en las puntuaciones de seguridad de los alumnos que contestan correctamente y los que contestan incorrectamente son significativas para cuatro de las Universidades: UNSL ($\chi^2 = 7,89$, $p < .01$), UAH ($\chi^2 = 7,88$, $p < .01$), UNSJ ($\chi^2 = 14,9$, $p < .001$) y TEC ($\chi^2 = 19,7$, $p < .001$). Para la pregunta sobre la energía no hay diferencias significativas en las puntuaciones para ninguna de las universidades. Puede observarse que las diferencias en la UCN, UAH y UPR son de sentido opuesto al esperado (mayor seguridad de los alumnos que responden incorrectamente), pero en ninguno de los casos alcanza la

significación estadística. Es preciso señalar que los valores obtenidos en la prueba Chi-cuadrado dependen de forma importante del tamaño de las muestras. Ello explica que la diferencia en el TEC (1405 alumnos) resulte significativa cuando es menor que, por ejemplo, la de la UNSJ (40 alumnos). Ello nos indica el mero valor indicativo que aporta la media en este tipo de datos.

Estos resultados, por tanto, ponen de manifiesto que los alumnos de las universidades participantes tienen en ocasiones, además de los problemas de comprensión ya analizados, problemas para controlar su propia comprensión. Es decir, no saben siempre cuando comprenden o no comprenden, al menos en parte del contenido tratado en la prueba. De hecho, tal como se desprende de las diferencias en las puntuaciones de comprensión en las preguntas 3 y 8.2, el grado en que los alumnos saben que comprenden depende del contenido de que se trate. Esto sugiere un problema metacognitivo de cierta entidad que sobrepasa los límites de este estudio: saber cuando se comprende, o no, parece una destreza dependiente del contenido sobre el que se trabaje. Dicho de otra manera, existen contenidos que los alumnos “desconocen mejor” que otros.

IV. CONCLUSIONES

El trabajo que se acaba de presentar examina la comprensión de conceptos básicos de Física por alumnos que acceden a la universidad. El análisis de la comprensión de contenidos científicos, como los examinados en este estudio, no es nuevo: muchos investigadores han analizado en detalle las dificultades y errores cometidos por los alumnos en el manejo de conceptos de la Física. Sin embargo, creemos que la aportación original de esta investigación radica en la variedad de sistemas educativos que se comparan. En el estudio se reúnen datos de sistemas educativos distantes y aparentemente diferentes, que sin embargo convergen de manera sorprendente en los resultados obtenidos.

Dos conclusiones pueden sintetizar las características de estos resultados. La primera es que el conocimiento conceptual de Física de los alumnos examinados es sorprendentemente pobre, cuando se compara con las expectativas que tienen los propios sistemas educativos acerca de lo que deberían haber aprendido estos estudiantes. Esto es aún más paradójico en el presente estudio, ya que en las muestras examinadas predominan los estudiantes de Ingeniería, procedentes de ramas científico-técnicas del nivel secundario, que son las que tienen mayores contenidos de Física en el currículo.

La segunda es que este pobre conocimiento es llamativamente similar para alumnos pertenecientes a sistemas educativos relativamente diferentes, como los de los países participantes en el estudio. Las limitaciones mostradas en la comprensión de conceptos básicos de la Física son similares. Desgraciadamente esto es así después de décadas de trabajos de investigación didáctica, innovación educativa y planes de formación de profesores,

lo cual sugiere limitaciones básicas en los sistemas de enseñanza de la Física de los países participantes

Desde otro punto de vista, y dado que los alumnos examinados han superado varios cursos de Física, los resultados obtenidos revelan también que se puede progresar en los estudios preuniversitarios (y posiblemente también en los primeros niveles universitarios) con una comprensión muy superficial de la Física, al menos en las áreas de la mecánica y la electricidad examinadas en este estudio. Los alumnos que hemos examinado manejan deficientemente conceptos matemáticos importantes, como el de derivada, el módulo y componentes de un vector, o los involucrados en relaciones trigonométricas sencillas. Siguen utilizando ideas alternativas de tipo pre-newtoniano en el estudio del movimiento y en la interacción mecánica entre los cuerpos. Conceptos básicos de la Física, como velocidad y aceleración o fuerza y energía, se siguen manejando superficialmente, aun después de la abundante investigación sobre las dificultades que plantea el aprendizaje de conceptos de esta clase [13, 15, 30, 31, 50]. En el campo de la electricidad, más de la mitad de los alumnos siguen manteniendo modelos ingenuos sobre la corriente eléctrica, como el de “gasto”, o son incapaces de aplicar la ley de Coulomb a una situación sencilla involucrando cargas puntuales.

El análisis de la seguridad en las respuestas pone de manifiesto que estas deficiencias en la comprensión están frecuentemente acompañadas por deficiencias en el control de esta comprensión: los alumnos no comprenden y además no saben que no comprenden. En algunos casos, las puntuaciones medias de seguridad en la corrección de las respuestas no difieren entre los alumnos que contestan correctamente y los que lo hacen incorrectamente. Pero, al mismo tiempo, estas diferencias dependen del contenido sobre el que se pregunte. Por ejemplo, el control de la propia comprensión de la interpretación gráfica de la derivada, tal como se mide en la prueba utilizada, es mejor, para varias de las universidades participantes, que el control de la comprensión del papel de la energía para un cuerpo que asciende por un plano inclinado. Los factores responsables de estas diferencias merecen un estudio más detallado que el que esta investigación puede permitir.

¿Qué implicaciones puede tener el análisis que hemos presentado para la mejora de la enseñanza de la Física en los niveles considerados? La similitud de los problemas encontrados proporciona algunas pistas para sugerir algunas medidas de mejora. No parece que cambios en aspectos relativamente superficiales del sistema de enseñanza de la Física (currículo, materiales, instalaciones, etc.) tengan un efecto decisivo en la mejora de resultados. Aunque no hemos realizado medidas de estas variables, es razonable suponer que varían apreciablemente entre los países que participaron en el estudio. Los resultados, sin embargo, no lo hacen. Por tanto, las vías de mejora que sugerimos explorar deben orientarse hacia cambios fundamentales en la forma de enseñar y aprender Física: una disminución drástica de los contenidos que se consideran en la enseñanza preuniversitaria y el consiguiente aumento de tiempo, y una reorientación de la atención hacia la comprensión y el uso de los conceptos básicos de la Física, como podrían ser la

representación matemática del cambio, las propiedades básicas de las fuerzas, o las características de modelos alternativos de la electricidad, por poner tres ejemplos.

Existe, tal como lo expresara McDermott [18], un enorme salto o diferencia entre lo que pretendemos enseñar y lo que aprenden los alumnos. En ese mismo trabajo McDermott [18] hace notar las deficiencias de la enseñanza tradicional y los beneficios de adoptar estrategias de aprendizaje activo científicamente fundamentadas en la investigación educativa de los últimos 30 años. La riqueza de este campo, ejemplificada en la cantidad de estrategias de enseñanza que diversos grupos de investigación educativa han desarrollado y publicado en la última década, no está siendo utilizada por los sistemas educativos del presente estudio. Entre estas propuestas metodológicas se encuentran *Physics by Inquiry* y *Tutoriales para Física Introductoria* del grupo de investigación liderado por L.C. McDermott en la Universidad de Washington [51,52]; *Interactive Lecture Demonstrations*, *RealTime Physics* y *Workshop Physics*, desarrolladas para la enseñanza universitaria por P. Laws, D. Sokoloff y R. Thornton [53, 54, 55, 56]; *Cooperative Group Problem Solving*, de P. Heller y K. Keller [57], así como *Peer's Instruction* elaborado por Mazur en la Universidad de Harvard [58]. El libro de E.F. Redish [59] es una excelente fuente de información y recursos didácticos sobre esta clase de enfoques de enseñanza. Aunque sólo *Tutoriales para Física Introductoria* está hasta ahora editado en castellano, en las correspondientes páginas Web puede encontrarse material y recursos didácticos para utilización en los cursos de Física básica, tanto de la universidad como de la escuela secundaria.

Por todo lo anterior, consideramos que una verdadera reforma de la enseñanza de la ciencia debería, con absoluta urgencia, establecer un programa serio de cambio curricular y metodológico que incorpore en los respectivos sistemas los resultados de la investigación educativa que han llevado a estos nuevos enfoques. Esta investigación ha puesto repetidamente de manifiesto la complejidad de los procesos de aprendizaje de las ciencias y la importancia de primar la profundidad sobre la extensión. Parece ya insostenible la pretensión de poder enseñar y aprender los extensos contenidos de algunos programas de Física. Por el contrario, es cada vez mas evidente la necesidad de favorecer el aprendizaje activo y el acercamiento a los modos de pensamiento científico, aunque sea limitándose solamente a ciertas áreas de los programas actuales.

En resumen, los resultados presentados en este artículo ponen de manifiesto la baja eficacia que la enseñanza de la Física ha tenido para las muestras argentinas, chilenas, cubanas, españolas y mexicanas analizadas. Los pobres resultados contrastan con las pretensiones del currículo existente en los cinco países: la comprensión conceptual cuya ausencia constatamos, se incluye como objetivo básico en varios cursos de niveles de enseñanza situados mucho antes del universitario. Las medidas correctoras que parecen demandar estos resultados implican una renuncia decidida a la extensión de los contenidos en el currículo preuniversitario, y una reorientación de la atención hacia la comprensión y el uso de los conceptos básicos de la Física.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación corresponde a los proyectos A/6535/06 - A/9261/07 "Nuevos enfoques metodológicos y de diagnóstico en los cursos introductorios de ciencias en la universidad" y C/018053/08 "Acciones para mejorar la formación de los alumnos de ciencias que acceden a las universidades iberoamericanas: planificación de intervenciones basadas en un diagnóstico de la situación y en la investigación en enseñanza de las ciencias". Ambos han sido subvencionados por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo dentro del Programa de Cooperación Interuniversitaria.

El proyecto en el que se enmarca este artículo ha sido realizado por el Grupo ACCEM, integrado por los siguientes investigadores: J. Benegas y M. Villegas (Universidad de San Luis, Argentina), P. Godoy, A. Macías, N. Nappa, y S. Pandiella (Universidad de San Juan, Argentina), S. Seballos (Universidad de Santiago, Chile), W. Ahumada y R. Espejo (Universidad Católica del Norte, Chile), Juan Silvio Cabrera (Universidad de Pinar del Río, Cuba), J. Otero y M. C. Pérez de Landazábal (Universidad de Alcalá, España), y Hugo Alarcón y Genaro Zavala (Instituto Tecnológico de Monterrey, México).

REFERENCIAS

[1] Hernández, M.J. y Tena, F., *Análisis crítico de algunos datos de la Licenciatura en Física de la Universitat de València*, XXVIII Reunión Bienal de la RSEF y 11º Encuentro Ibérico para la Enseñanza de la Física. Vol. 2, 311-312 (2001).

[2] Pérez de Landazábal, M. C., Bilbao, F., Otero, J. y Caballero, C., *Formación inicial y rendimiento en Física del primer curso universitario*, Revista de Educación **329**, 331-347 (2002).

[3] Ferreira, A. y González, E. M., *Reflexiones sobre la enseñanza de la Física universitaria*, Enseñanza de las Ciencias **18**, 189-199 (2000).

[4] FOMEC, *Documento de trabajo sobre la enseñanza de la Física en las universidades*, (Ministerio de Educación de la Nación, Buenos Aires, Argentina, 1995).

[5] Cotignola, M.Y., Tuyarot, D. y Punte, G., *Fracaso de los alumnos en los cursos de Física. I. ¿Por qué los alumnos no entienden la Física que les enseñamos?* Memorias REFV- RELAFI-IV, pp. 22-31, Mar del Plata, Argentina (1987).

[6] Covián, E. y Celemín, M., Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos, Enseñanza de las Ciencias **26**, 23-42 (2008).

[7] Benegas, J. y Granata, M. L., *El problema del ingresante en la universidad pública Argentina: estrategias para favorecer su inclusión y éxito académico*, II Congreso Iberoamericano de Didáctica Universitaria, Vol. 1, pp. 132, Osorno, Chile, (2001).

[8] Chrobak, R., *Un modelo científico de instrucción para enseñanza de Física basado en una teoría comprensible del* Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 3, Sept. 2010

aprendizaje humano y en experiencia de clase, III Escuela Lationamericana sobre Investigación en Enseñanza de la Física (III ELAIEF), Canela, Brasil, (1996).

[9] Lawson, A., *Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales*, Enseñanza de las Ciencias **12**, 165-187 (1994).

[10] Muñoz-Chápuli, R., *Escribir para aprender: ensayo de una alternativa para la enseñanza universitaria de las ciencias*, Enseñanza de las Ciencias **13**, 273-278 (1995).

[11] Álvarez, W., Lacués, E., Pagano, M., Czerwonogora, A., Isolabella, G. y Leymoníe, J., *La matemática al ingreso en la universidad. Un estudio comparativo de cuatro facultades en el Uruguay*, Revista Iberoamericana de Educación **42**, No. 4 (2007).

[12] Coleman, L. A., Holcomb, D. F. y Rigden, J. S., *The Introductory University Physics Project 1987-1995: What has it accomplished?*, American Journal of Physics **66**, 124-137 (1998).

[13] Duit, R., *Students' and teachers' conceptions and Science Education*, (2004). Disponible en: <<http://www.ipn.unikiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>>.

Institute for Science Education. Alemania. University of Kiel. Consultado el 30 de Enero de 2008.

[14] Halloun, I. B. y Hestenes, D., *Common sense concepts about motion*, American Journal of Physics **53**, 1056-1065 (1985).

[15] McDermott, L. C., *Research on conceptual understanding in mechanics*, Physics Today **37**, 24-32 (1984).

[16] McDermott, L. C. y Redish, F., *Resource Letter: PER-1: Physics Education Research*, American Journal of Physics **67**, 755-767 (1999).

[17] Salinas de Sandoval, J., Cudmani, L. C. de y Pesa de Danón, M., *Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico*, Enseñanza de las Ciencias **14**, 209-220 (1996).

[18] McDermott, L. C., *What we teach and what is learned - Closing the gap* (Millikan Lecture 1990), American Journal of Physics **59**, 301-315 (1991).

[19] OECD, *Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. Paris: OECD. (Versión española, *La medida de los conocimientos y destrezas de los alumnos*. La evaluación de la lectura, las matemáticas y las ciencias en el Proyecto Pisa 2000, (MECD-INCE, Madrid, 2001).

[20] OECD, *Knowledge and Skills for Life. First Results from PISA 2000*, (OECD, Paris, 2001).

[21] OECD, *Literacy Skills for the World of Tomorrow. Further Results from PISA 2003*, (OECD, Paris, 2003).

[22] OECD, *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World Executive Summary*. Paris: OECD (Versión española, *Pisa 2006. Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la OCDE*. Informe español, (MEC-Instituto de Evaluación, Madrid, 2007).

[23] Martin, M. O., Mullis, I. V. S., González, E. J. y Chrostowski, S. J., *TIMSS 2003 International Science Report. Findings From IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth*

- Pérez de Landazábal, M. C., Benegas, J., Cabrera, J. S., Espejo, R., Macías, A., Otero, J., Seballos, S. y Zavala, G. *Grades. TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch School of Education, Boston College, (2004).*
- [24] Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Foy, P. (en colaboración con Olson, J.F., Erberber, E., Preuschoff, C. y Galia, J.), *TIMSS 2007 International Science Report: Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth Grades.* TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch School of Education, Boston College, (2008).
- [25] OBI, *Física, Primeros exámenes:2003*, (OBI, Ginebra, 2001).
- [26] Bloom, B., *Taxonomía de las Metas Educativas. Tomo I: Ámbito del Conocimiento*, (Marfil, Alcoy, 1972).
- [27] Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, *The Physics Teacher* **30**, 141-158 (1992).
- [28] Engelhardt, P. V. y Beichner, R. J., *Students' understanding of direct current resistive electrical circuits*, *American Journal of Physics* **72**, 98-115 (2004).
- [29] Maloney, D. P., O'kuma, T. L., Hieggelke, C. J. y Van Heuvelen, A., *Surveying Students' conceptual knowledge of electricity and magnetism*, *American Journal of Physics* **69**, S12-S23 (2001).
- [30] Bliss, J., Morrison, I. y Ogborn, J., *A longitudinal study of dynamics concepts*, *International Journal of Science Education* **10**, 99-110 (1988).
- [31] Hierrezuelo, J. y Montero, A., *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*, (Laia/M.E.C., Madrid, 1988).
- [32] Watts, D. y Zylbersztajn, A., *A survey of some children's ideas about force*, *Physics Education* **16**, 360-365, (1981).
- [33] Osborne, R. J. y Freyberg, P., *Learning in Science. The implications of children's Science*, (Heinemann, London, 1985). (El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos, (Narcea, Madrid, 1991).
- [34] Wang, M. C., Haertel, G.D. y Walberg, H. J., *Toward a Knowledge Base for School Learning*, *Review of Educational Research* **63**, 249-294 (1993).
- [35] Ministerio de Cultura y Educación, Consejo Federal de Educación, *Contenidos básicos comunes Polimodal* (2000).
- [36] Ministerio de Educación, Gobierno de Chile, *Curriculum, Programas de estudios* (2000).
- [37] Ministerio de Educación y Ciencia, Real decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas, (2007).
- [38] Beichner R. J., *Testing student interpretation of kinematics graphs*, *American Journal of Physics* **62**, 750 (1994).
- [39] Guidugli, S., Fernandez Gauna, C. y Benegas, J. C., *Learning Kinematics Concepts and Their Linear Graphs Representation by High School Students in Argentina: a comparison of Different Teaching Strategies*, *The Physics Teacher* **43**, 334-337 (2005).
- [40] Viennot, L., *Spontaneous reasoning in elementary dynamics*, *European Journal of science Education* **1**, 205-221 (1979).
- [41] Clement, J., *Students' preconceptions in introductory mechanics*, *American Journal of Physics* **50**, 66-71 (1982).
- [42] Sebastiá, J. M., *Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes*, *Enseñanza de las Ciencias* **2**, 161-169 (1984).
- [43] Maloney, D. P., *Rule-governed approaches to physics Newton's third law*, *Physics Education* **19**, 37-42 (1984)
- [44] Terry, C. y Jones, G., *Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change*, *European Journal of science Education* **8**, 291-298 (1986).
- [45] Di Sessa, A. A., *Toward an Epistemology of Physics*, *Cognition and Instruction* **10**, 105-225 (1993).
- [46] Carrascosa, J., *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las Ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis doctoral, Universidad de Valencia, (1987).
- [47] Acevedo, J. A., *Comprensión newtoniana de la caída de los cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato*, *Enseñanza de las Ciencias* **7**, 241-246 (1989).
- [48] Closset, J., *Sequential reasoning in electricity*, *Actes Atelier International d'été*, La Londe les Maures, Francia, (1983). pp. 313-319.
- [49] Shipstone, D. M., *A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits*, *European Journal of science Education* **6**, 85-198 (1984).
- [50] Gil, D. y Carrascosa, J., *La metodología de la superficialidad y la enseñanza de las Ciencias*, *Enseñanza de las Ciencias* **3**, 113-119 (1985).
- [51] McDermott, L. C. y el PEG de University of Washington, *Physics by Inquiry*, Volumes I & II. (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996).
- [52] McDermott, L. C., Shaffer, P. S. y el PEG de University of Washington, *Tutoriales para Física Introductoria*, (Prentice Hall, Buenos Aires, 2001)
- [53] Sokoloff, D. R. y Thornton, R. K., *Using Interactive Lecture Demonstrations to create an active learning environment*, *The Physics Teacher* **36**, 340 (1997).
- [54] Sokoloff, D. R. y Thornton, R. K., *Interactive Lecture Demonstrations*, (Wiley, Hoboken NJ, 2004).
- [55] Sokoloff, D. R., Thornton, R. K. y Laws, P., *Real Time Physics*, (Wiley, Hoboken, NJ, 2004).
- [56] Laws, P. W., *Workshop Physics Activity Guide*, (Wiley, Hoboken, NJ, 1997).
- [57] Heller, P. y Keller, K., *Cooperative Group Problem Solving in Physics*, (University of Minnesota, USA, 1999).
- [58] Mazur, E., *Peer Instruction: A User's Manual*, (Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997).
- [59] Redish, E. F., *Teaching Physics with the Physics Suite*, (Wiley, Hoboken, NJ, 2004).
- <http://www2.physics.umd.edu/~redish/Book/>