

La comprensión de conceptos matemáticos y físicos: un estudio diagnóstico en estudiantes de universidades iberoamericanas

Understanding mathematical and physical concepts: a diagnostic study in Latin American universities students

Autores: Dr. C. Juan Silvio Cabrera Albert; MSc. Roberto Barrera Jimenez; Lic. Paulina Marlen Oliva

Centro de procedencia: Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca"; Grupo ACEM

E-mail: jsilvio@upr.edu.cu; rbarrera@info.upr.edu.cu

Resumen

La permanencia de los estudiantes universitarios durante su formación inicial se ha convertido en uno de los principales retos de la educación superior en muchos países. Estudios realizados muestran que una de las más elevadas tasas de abandono y fracaso corresponde a los estudiantes de las facultades de ciencias o en ingeniería debido entre otras a asignaturas como la física y la matemática. Para contribuir a la solución del problema, en este trabajo se busca determinar los condicionantes de tipo académico que inciden en el rendimiento estudiantil de los alumnos que ingresan en los primeros cursos de carreras relacionadas con la física. El estudio incluye diagnósticos sobre los conocimientos conceptuales de matemáticas y física, así como el nivel de desarrollo cognitivo y metacognitivo de alumnos que acceden a varias universidades iberoamericanas. Del estudio de las relaciones entre estas variables de entrada y los resultados en algunas asignaturas de ciencias del primer curso universitario pretendemos establecer un perfil del alumno que contribuya a su éxito en los estudios universitarios.

Palabras claves: conceptos matemáticos y físicos, estudio diagnóstico, tasas de abandono y fracaso, rendimiento estudiantil, desarrollo cognitivo y metacognitivo, perfil del alumno

Abstract

The success of university students during the first years of their studies in higher education has become one of the main challenges for the educational system in many countries. Studies carried out lately show that mathematics and physics are among the subjects that mainly provoke the failure among engineering and science students. To contribute to the solution of such problem, in the present article the authors try to find out the main academic causes that influence on the students' results during the first years of their studies at university. The study includes a diagnosis of mathematical and physical conceptual knowledge as well as the cognitive and metacognitive level reached by students that enter different Ibero- American universities. Based on the study of starting and final results in this direction, the authors try to establish the students' profile in order to contribute to their academic success

Keywords: mathematical and physical concepts, diagnostic workup, abandonment and failure rates, student achievement, cognitive and metacognitive development, student profile

¹ El grupo **ACEM** está compuesto también por M. Villegas (Universidad de San Luis, Argentina), N. Nappa, S. Pandiella y P. Godoy (Universidad de San Juan, Argentina), M.A. Hidalgo, (Universidad de Alcalá, España), H. Ruiz y J. Slisko (Universidad Autónoma de Puebla, México) y H. Alarcón y G. Zavala (Instituto Tecnológico de Monterrey, México) como parte de un proyecto financiado con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECID).

Acerca del rendimiento que muestran muchos alumnos de países iberoamericanos en asignatura como matemática y física al acceder a carreras universitarias de ciencias o ingenieriles

Para muchos sistemas educacionales, el siglo XXI ha devenido período de grandes transformaciones en consonancia con las exigencias de la contemporaneidad. En el caso de la Educación Superior de los países de América Latina, los esfuerzos en los últimos años se han volcado básicamente hacia la búsqueda de premisas que propicien la formación de un profesional activo transformador de la realidad, lo cual ha requerido, en consecuencia, de profundos estudios en torno a la didáctica del proceso de enseñanza-aprendizaje y la comprensión de los propios procesos formativos. Particular atención en este sentido ha merecido, sin dudas, la problemática relacionada con los bajos rendimientos que muestran muchos alumnos de países iberoamericanos en asignatura como matemática y física al acceder a carreras universitarias de ciencias o ingenieriles.

Para contribuir a la solución del problema planteado, los autores del presente trabajo se propusieron caracterizar las condicionantes de tipo académico que inciden en el rendimiento estudiantil de los alumnos que ingresan en los primeros cursos de carreras, relacionadas con la física. El estudio abarca un diagnóstico sobre los conocimientos conceptuales de matemáticas y física, así como el nivel de desarrollo cognitivo y metacognitivo, en 7 universidades iberoamericanas: Universidad de Alcalá (España), Universidad de San Luis y San Juan (Argentina), Universidad de Santiago y Antofagasta (Chile), Universidad de Monterrey (México) y la Universidad de Pinar del Río.

Del estudio de las relaciones entre estas variables de entrada y los resultados en algunas asignaturas de ciencias del primer curso universitario pretendemos establecer un perfil del alumno que contribuya a su éxito en los estudios universitarios.

MATERIALES Y METODOS

¿Qué medimos y cómo lo hacemos?

La prueba utilizada mide comprensión de conceptos físicos y matemáticos necesarios para el estudio de la disciplina en los cursos introductorios de la universidad. Incluye preguntas que miden objetivos de las categorías de comprensión y aplicación en la taxonomía de Bloom (1972), tomadas de otras investigaciones. De esta forma se tiene constancia de su validez y permiten la comparación con resultados obtenidos por otros investigadores, en otros sistemas educativos. Este instrumento consta de 5 preguntas de Matemática (trigonometría, derivadas, ecuación de una recta, potencias de 10 y vectores) y 8 preguntas de Física (cinemática, fuerzas, 2ª y 3ª Ley de Newton, fuerza y energía en un plano inclinado, movimiento vertical, circuitos eléctricos y Ley de Coulomb).

Dos de las preguntas sobre fuerzas (preguntas 7 y 8) corresponden a los ítems 25 y 15 de la prueba *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes y col., 1992), una de las más usadas en investigación y docencia. La pregunta 12 corresponde al ítem 17 de *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 col., 2001). Hemos agregado una pregunta sobre cinemática (ítem 6), otra sobre fuerza y energía en un plano inclinado (ítems 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. El formato elegido ha sido el de respuesta múltiple con una sola opción correcta, en la que los distractores han sido elegidos entre los modelos alternativos reflejados por la investigación didáctica sobre el tema.

Por otra parte, la prueba utilizada también pretende indagar sobre aspectos metacognitivos del conocimiento estudiantil, en particular el grado en que controlan su propia comprensión, analizando la seguridad que los estudiantes manifiestan en sus respuestas. Pare ello, en 6 de los ítems (2, 6, 8, 9.2, 12, 13.3) se solicita una puntuación desde 1 (muy poca seguridad en que la respuesta sea correcta) a 4 (mucha seguridad en que la respuesta sea correcta).

MUESTRA

5. La magnitud (módulo) del vector $\vec{v} = 8\vec{i} - 6\vec{j}$, donde \vec{i} y \vec{j} son los vectores unitarios, es:
 a) 2 b) 5,3 c) 10 d) 14 e) Ninguna de las anteriores

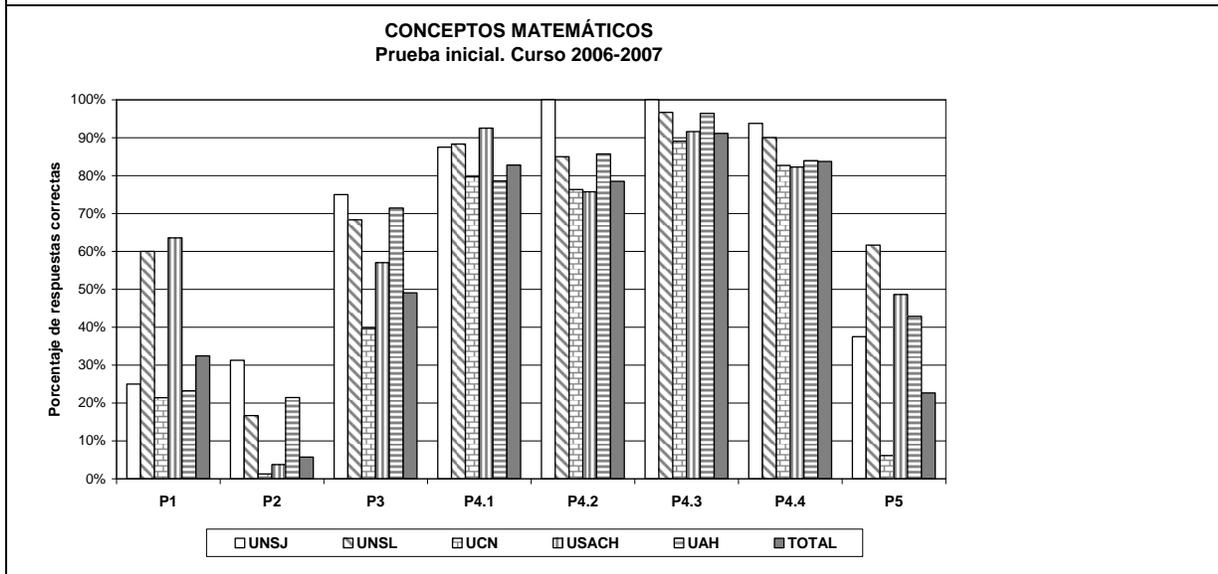
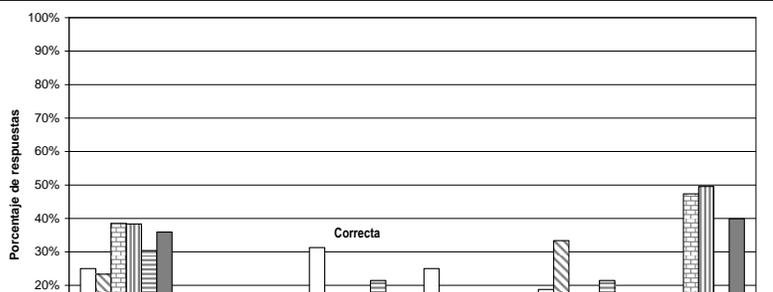
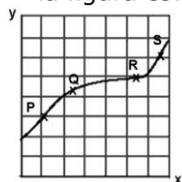


Figura 1. Porcentaje de respuestas correctas en las preguntas relativas a los conceptos matemáticos

Los alumnos dominan prácticamente el uso de las potencias de diez. En cambio, manejan deficientemente el cálculo vectorial, quizá por problemas básicos en el uso de la trigonometría (32% de respuestas correctas en la P1). Solamente el 23% es capaz de calcular correctamente el módulo de un vector. La razón puede ser el desconocimiento u olvido de la definición en términos de las componentes del vector, o la incapacidad de realizar correctamente las operaciones matemáticas necesarias. La ecuación de la recta es reconocida correctamente por el 49% del conjunto.

Menos del 10% del total de alumnos contesta correctamente la pregunta sobre la derivada. En la Figura 2 se analizan los distractores elegidos por los estudiantes. El elegido con mayor frecuencia es el a, con un 36% del total de alumnos. Ello indica que se ordenan los valores de la derivada según los valores de la función. Otra opción favorita es la e, elegida por el 12% de los alumnos. Estos alumnos consideran necesario conocer la función en cada punto para poder responder. Puede interpretarse como desconocimiento de la relación entre la derivada y la pendiente de la curva.

2. 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 2. Concepto de derivada. Distractores elegidos por los estudiantes.

Se incluía aquí una pregunta sobre la seguridad en la respuesta. La Figura 3, compara el grado de seguridad en la respuesta de los alumnos que respondieron correctamente o incorrectamente la pregunta. Una mayor diferencia entre las medias de ambos grupos, para cada universidad, corresponde a una mejor actuación de los sujetos desde el punto de vista del control de la comprensión operacionalizado a través de esta medida. Según esto, los mejores resultados corresponderían a UNSL y UAH.

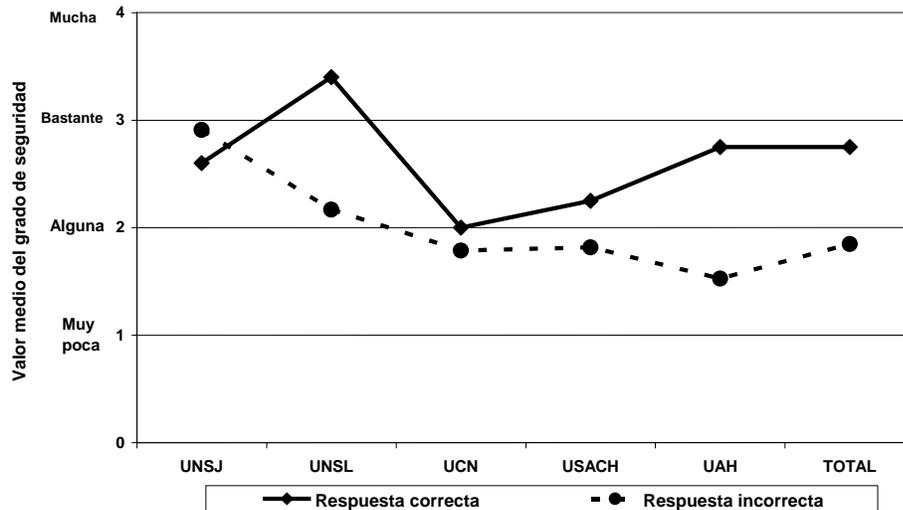


Figura 3. Seguridad en la respuesta. Concepto de derivada.

El análisis anterior revela deficiencias importantes en la formación matemática de los estudiantes. 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 o el módulo 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. Debe notarse además que en la UNSJ y en la UNSL los alumnos han cursado un semestre previo de cálculo matemático. Los resultados ponen de manifiesto, además, algunas características indeseables de las estrategias utilizadas por los alumnos para enfrentarse a las tareas planteadas. Una de estas estrategias se pone de manifiesto al analizar la elección de distractores en la pregunta 2. 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 hay un procesamiento superficial, atendiendo a características superficiales de la información (valor de la ordenada, en lugar de estimar el valor de la pendiente), que conduce a este error. Deficiencias básicas de esta clase podrían explicar los errores cometidos en otras situaciones en las que se procesa información más compleja.

1.2 Conceptos de mecánica

En la prueba se plantearon cuestiones relativas al concepto de aceleración, comprensión de la segunda y tercera ley de la dinámica y distinción de los conceptos de fuerza y energía.

a) Concepto de aceleración.

El porcentaje de respuestas correctas varía entre el 36% de la UCN y el 54% de la USACH, lo cual indica deficiencias en la comprensión del concepto de aceleración en aproximadamente la mitad de los alumnos.

Un 19% del total confunde el valor de la magnitud con su variación y un 16% confunde la aceleración con la velocidad.

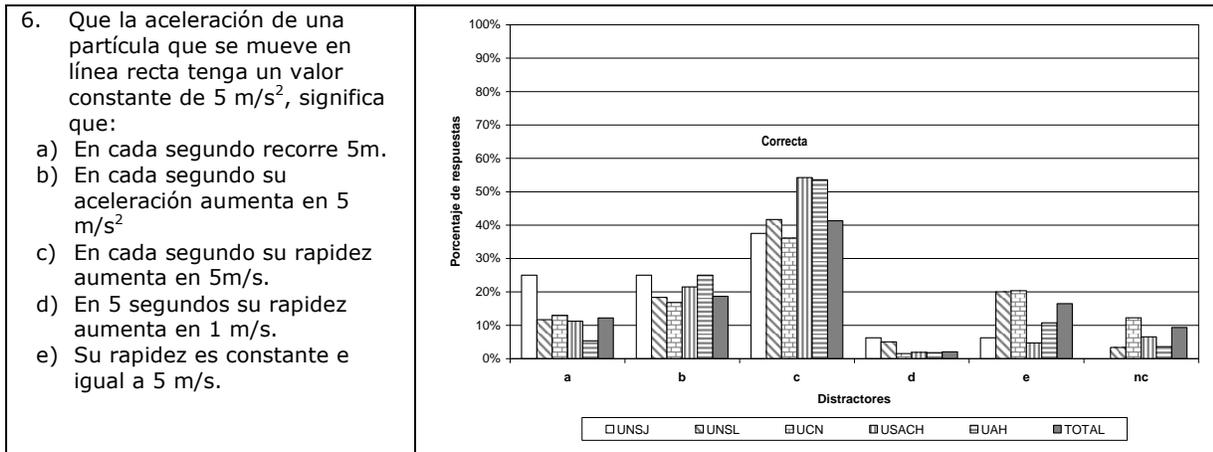


Figura 4. Concepto de aceleración. Distractores elegidos por los estudiantes.

En cuanto al grado de seguridad en al respuesta, los alumnos que responden correctamente están ligeramente más seguros de su respuesta que los que fallan (Figura 5), salvo en el caso de la UNSJ dónde ambos grupos manifiestan una seguridad similar.

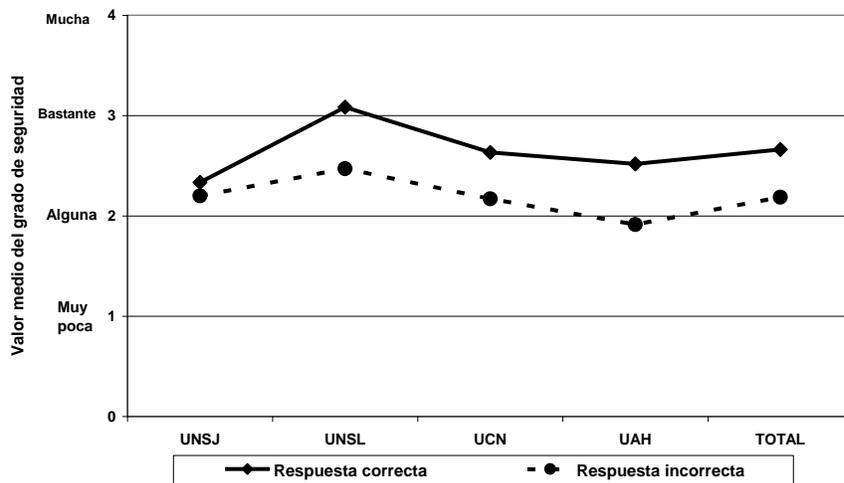
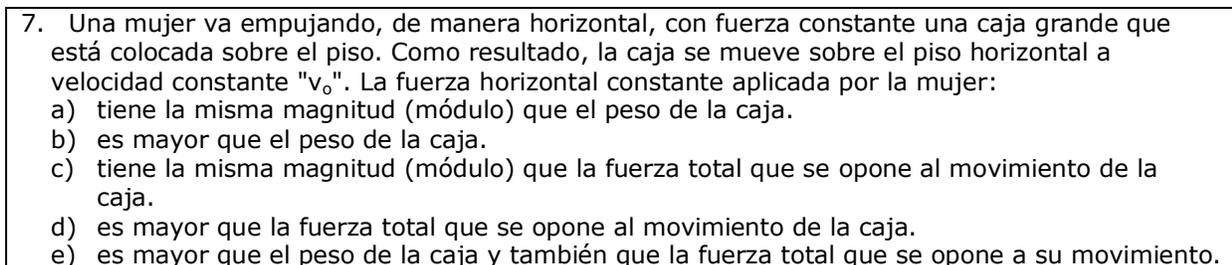


Figura 5. Seguridad en la respuesta. Concepto de aceleración.

La aceleración es un concepto básico incluido en el curriculum de Física del nivel secundario de todos los países participantes. En España se trata en tres cursos de la enseñanza secundaria, y se realiza un alto número de ejercicios sobre el mismo.

b) Segunda ley de la dinámica



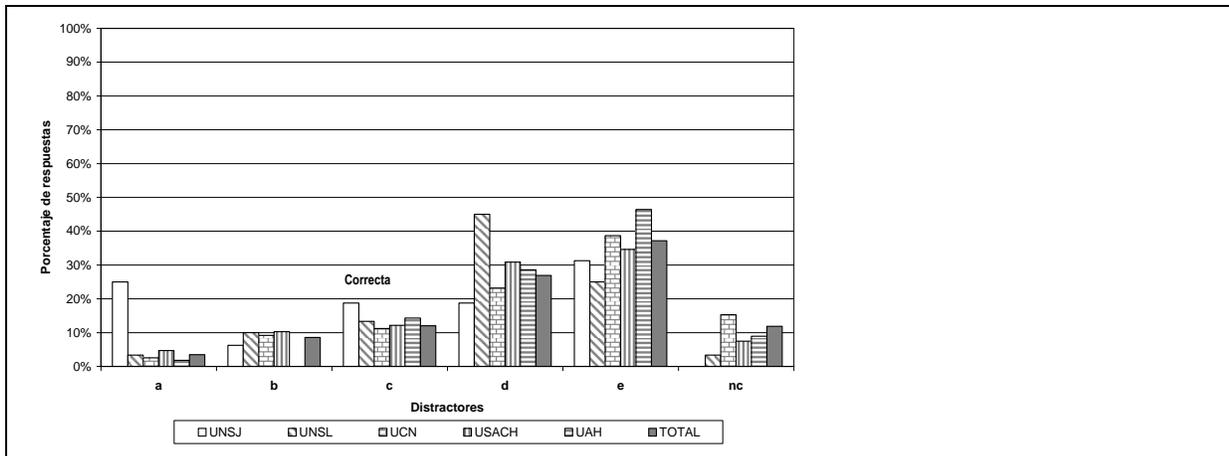


Figura 6. Segunda ley de la dinámica. Distractores elegidos por los estudiantes.

El porcentaje de respuestas correctas en esta pregunta no llega al 20% en ninguna de las Universidades estudiadas. El distractor elegido con más frecuencia es el e, con el 37% del total de alumnos. Estos sujetos señalan que la fuerza aplicada debe superar también el peso de la caja, mezclando fuerzas verticales y horizontales en su razonamiento. Sigue en las preferencias el distractor d, con un 27% del total de alumnos. Esta opción implica la concepción pre-newtoniana de que se necesita una fuerza para mantener un cuerpo en movimiento rectilíneo uniforme, idea mantenida por muchos alumnos cuando llegan a la universidad (Viennot, 1979; Clement, 1982; Sebastiá, 1984; Hierrezuelo y Montero, 1988; Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992; Duit, 2004).

c) Principio de acción y reacción

8. 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.

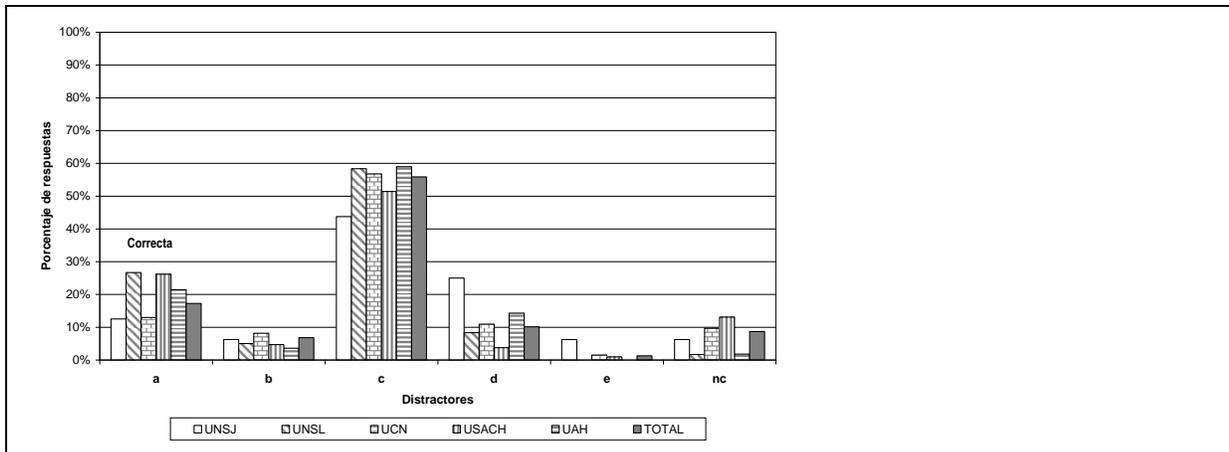


Figura 7. Principio de acción y reacción. Distractores elegidos por los estudiantes.

La dificultad que encierra para los alumnos la comprensión del principio de acción y reacción queda reflejada en los resultados de esta pregunta, con sólo el 17% de respuestas correctas. La concordancia de resultados entre las distintas universidades queda marcada también en el distractor favorito para casi el 60% de los alumnos: la intensidad de la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión ejerce sobre el auto. Los resultados confirman los encontrados por otras investigaciones sobre el tema (Maloney, 1984; Terry y Jones, 1986).

Para esta pregunta el grado de seguridad de los alumnos que responden correctamente es muy parecido al de los alumnos que eligen un distractor incorrecto. Los resultados ponen de manifiesto que el grado en que los alumnos saben que comprenden depende del contenido de que se trate. La diferencia puede ilustrarse por la seguridad de los alumnos de la UAH a las respuestas a las preguntas 2 y 8. En el primer caso, la diferencia entre seguridad de los alumnos que contestan correctamente o incorrectamente es notablemente mayor que en la contestación a la presente pregunta, en donde ambas puntuaciones coinciden prácticamente. Esto sugiere un problema metacognitivo de cierta entidad que no podemos abordar en 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 se "desconocen mejor" que otros.

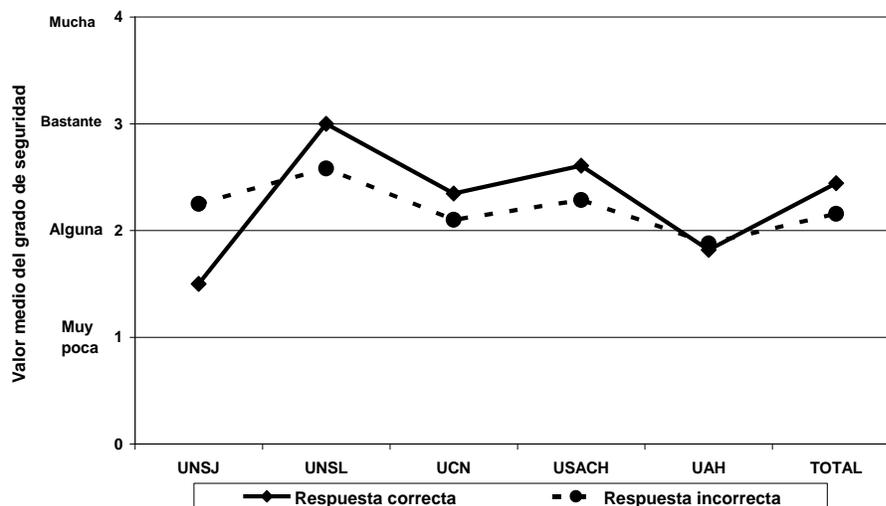
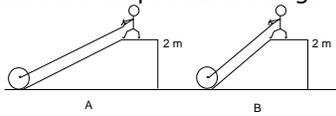


Figura 8. Seguridad en la respuesta. Principio de acción y reacción.

d) Conceptualización de Fuerza y Energía

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

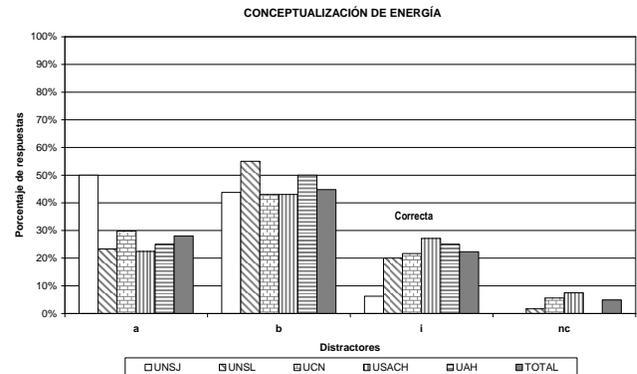
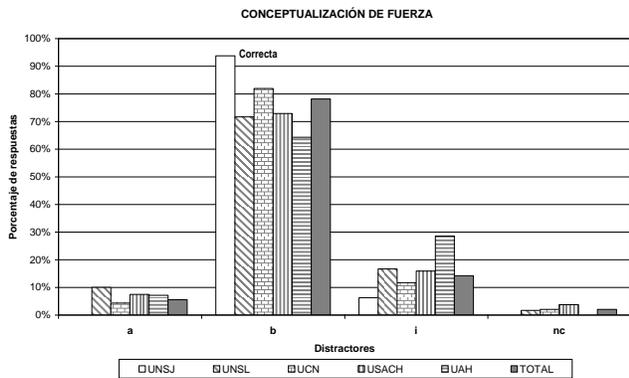


Figura 9. Conceptualización de Fuerza y Energía. Distractores elegidos por los estudiantes.

La pregunta 9.1. relativa a la Fuerza resulta sencilla para los alumnos: prácticamente un 80% de respuestas correctas. En cambio solamente un 22% responde bien la cuestión relativa a la Energía. Un 45% opta por la opción b (la opción correcta en la cuestión de 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 10 muestra el número de alumnos que elige la misma opción en las dos preguntas y los que responden correctamente ambas preguntas. Los primeros presentan una conceptualización confusa de Fuerza y Energía.

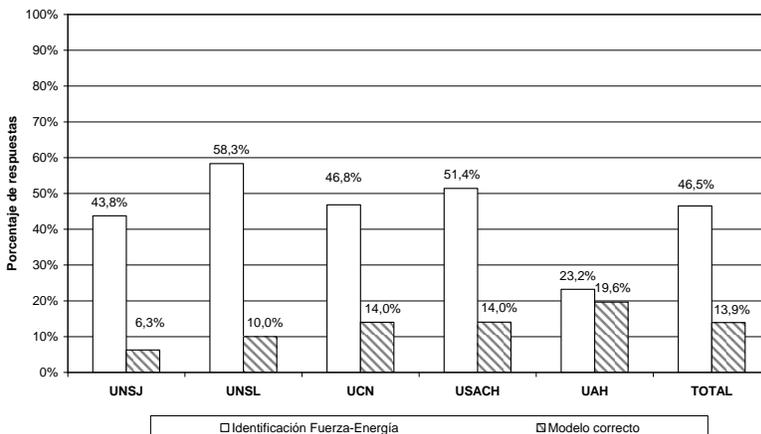


Figura 10. Conceptualización de Fuerza y Energía

El porcentaje de alumnos que distingue apropiadamente los conceptos de Fuerza y Energía se mantiene entre el 10 y el 20% en las diferentes universidades. Prácticamente la mitad de los estudiantes asocian mayor fuerza a más energía. Los resultados de la UAH discrepan de la tendencia general: solamente un 23% parece confundir ambos conceptos. Pero eso no implica necesariamente una mejor asimilación de los

conceptos, ya que el porcentaje de respuestas correctas en la pregunta sobre Fuerza es más bajo en la UAH (64%), indicando que más de la tercera parte de estos alumnos no sabe analizar tampoco la situación de la rampa en términos de fuerza. Conviene aclarar que, si bien el concepto de energía no se considera en los currículos de la enseñanza secundaria de Argentina y Chile, en España se comienza a tratar en el 4º año de la ESO (10º grado).

Estos resultados no son superiores a los encontrados con estudiantes de enseñanza secundaria. Bliss, Morrison y Ogborn (1988) encontraron que un 45% de los sujetos 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 (1988) encontraron la misma confusión en el 36% de una muestra de alumnos españoles de 2º BUP (10º grado) que seguía un curso de enseñanza expositiva.

El valor medio de la seguridad en la respuesta a esta pregunta es bajo (*alguna seguridad*), y no hay prácticamente diferencia entre los alumnos que responden correctamente y los que responden incorrectamente. De hecho, los estudiantes de la UNSJ se muestran en promedio más seguros de la respuesta incorrecta que de la correcta.

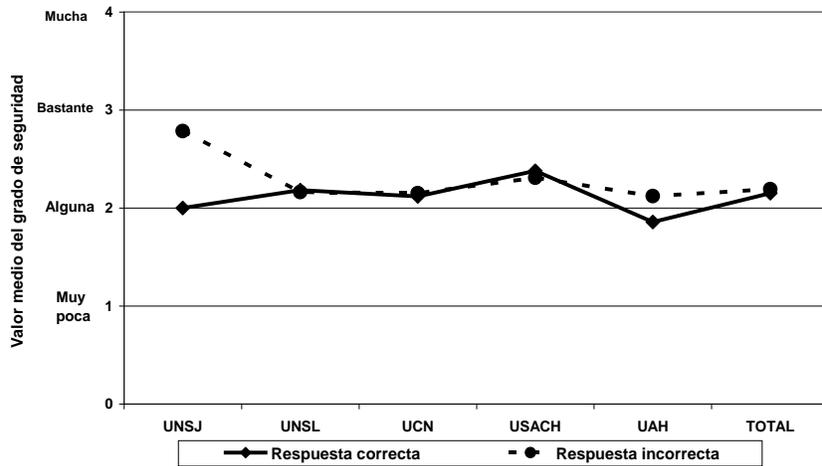
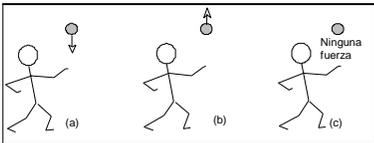


Figura 11. Seguridad en la respuesta. Conceptualización de la energía

e) Fuerza y movimiento

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?

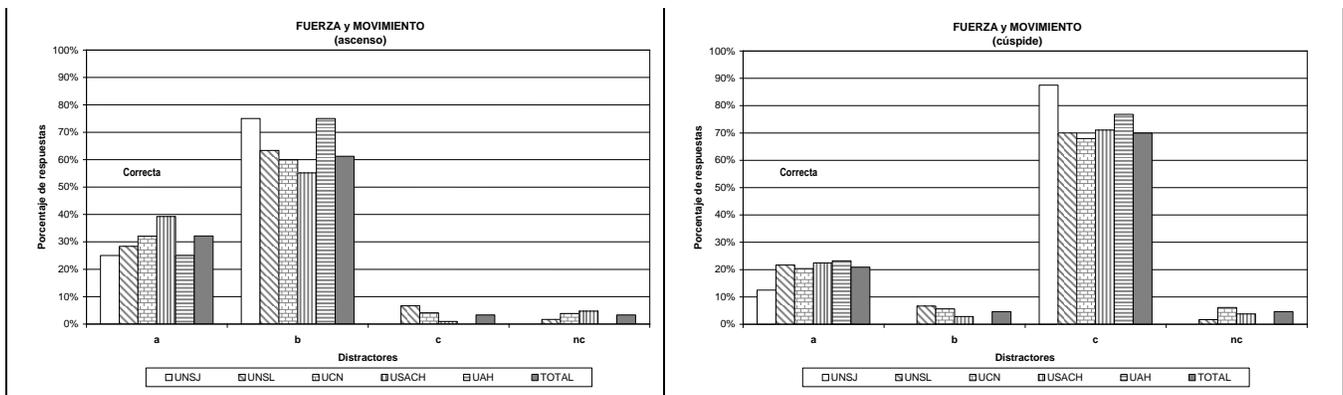


Figura 12. Fuerza y movimiento. Distractores elegidos por los estudiantes.

La Figura 12 representa los porcentajes de distractores escogidos en esta pregunta que examina las concepciones espontáneas sobre la fuerza. Un 61% de los alumnos elige la opción **b** (fuerza ascendente) cuando la pelota asciende y el 70% la opción **c** (fuerza nula) cuando ha alcanzado la altura máxima. El porcentaje de respuestas correctas es del 32% y 21% en cada una de las dos situaciones. Cuando la pelota cae la elección de la fuerza descendente es mayoritaria (81%).

En la Figura 13 se presentan resultados del análisis conjunto de las tres situaciones para comprobar los modelos mantenidos por los alumnos. Menos del 11% de los alumnos han adquirido el modelo científico, es decir, menos del 11% seleccionan la opción correcta **a en los tres casos**. Entre el 44% y el 60% contesta de acuerdo con el modelo medieval 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. 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).

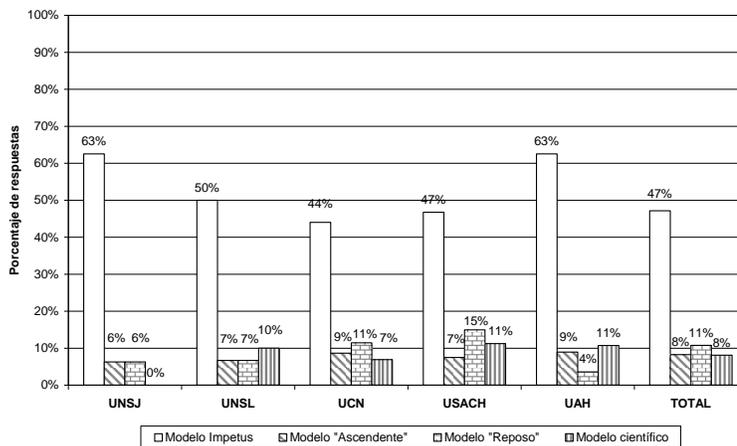


Figura 13. Conceptualización de Fuerza y movimiento

Resultados similares han sido encontrados en investigaciones sobre alumnos de educación secundaria (Watts y Zybersztajn, 1981; Osborne y Freyberg, 1985) y de universidad (Clement, 1982; Halloun y Hestenes, 1985). 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 (1984), Carrascosa (1987) y Acevedo (1989) han confirmado la persistencia de estos esquemas alternativos en alumnos españoles desde 2º BUP (10º grado) a graduados universitarios¹.

¹ Para Viennot (1979) 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

1.3 Conceptos de electricidad

Se plantearon tres cuestiones sobre conceptos eléctricos: dos sobre circuitos y una sobre la ley de Coulomb.

a) Modelo de corriente eléctrica

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:

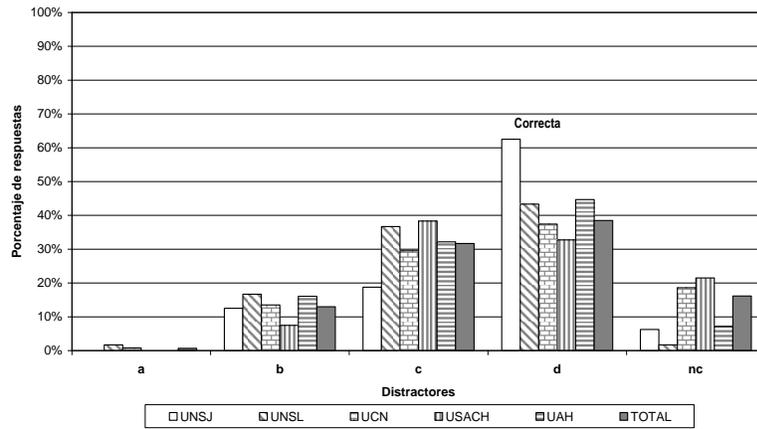
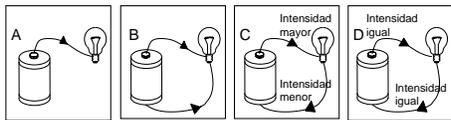


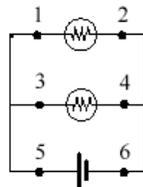
Figura 14. Modelos de corriente. Distractores elegidos por los estudiantes.

La opción más frecuente corresponde al modelo científico, pero solamente supone el 38% del total de alumnos (63%, en UNSJ). El 32% de los alumnos, con pocas diferencias entre universidades, elige el *modelo de gasto*: la intensidad de la corriente va disminuyendo a medida que "circula por los diferentes elementos del circuito". Un 10% se adhiere al "modelo concurrente": la corriente sale de ambos polos y "choca" en la bombilla".

b) Circuitos eléctricos

12. 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.

- a) $5 > 3 > 1 > 2 > 4 >$
- b) $5 > 3 > 1 > 4 > 2 >$
- c) $5 = 6 > 3 = 4 > 1 = 2$
- d) $5 = 6 > 1 = 2 = 3 =$
- e) $1 = 2 = 3 = 4 = 5 =$



- 6
- 6
- 4
- 6

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, atribuida al objeto y susceptible de ir consumiéndose.

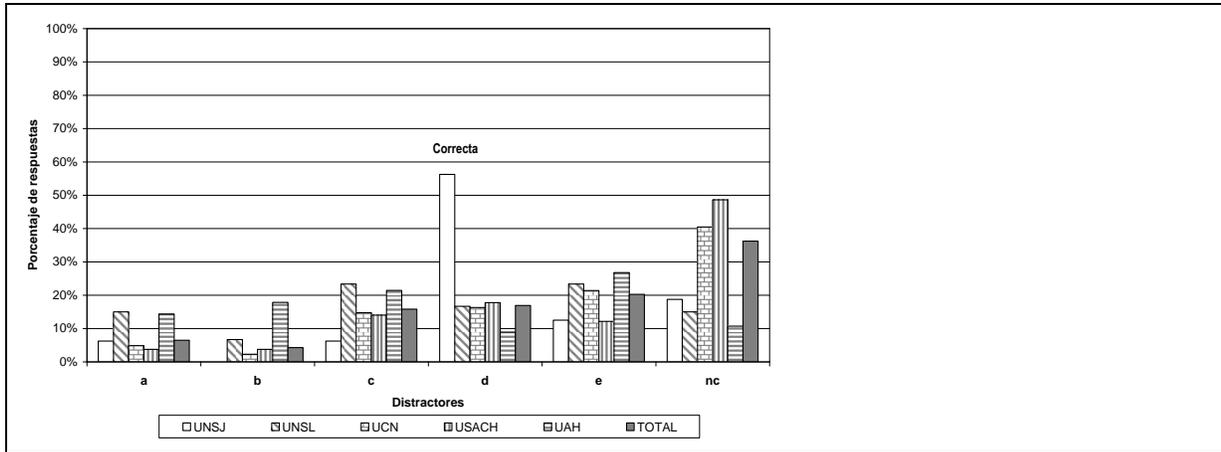


Figura 15. Circuitos eléctricos. Distractores elegidos por los estudiantes.

La respuesta a esta pregunta es prácticamente aleatoria para todas las universidades excepto UNSJ. Hay que destacar porcentajes importantes de alumnos chilenos que no responden a esta pregunta. Los distractores *c* y *e* compiten con la opción correcta. La selección del distractor *c* puede explicarse por la utilización del *razonamiento secuencial*, ya señalado: cuánto más lejos de la batería, menor intensidad de corriente.

Los resultados concuerdan con los obtenidos por Shipstone (1984) en un estudio 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 (1996) coinciden al encontrar que un 40% distinguen el comportamiento de los componentes que están "antes de" y "después de" el elemento modificado, según el sentido de circulación de la corriente.

En esta pregunta se repite la pauta, encontrada en otras, de mayor seguridad asociada a mayores conocimientos. Los alumnos de la UNSJ, con el mejor porcentaje de respuestas correctas, controlan mejor la comprensión que los de las restantes universidades, como se pone de manifiesto por la mayor diferencia en las puntuaciones de seguridad entre los alumnos que contestan correcta e incorrectamente (Figura 16).

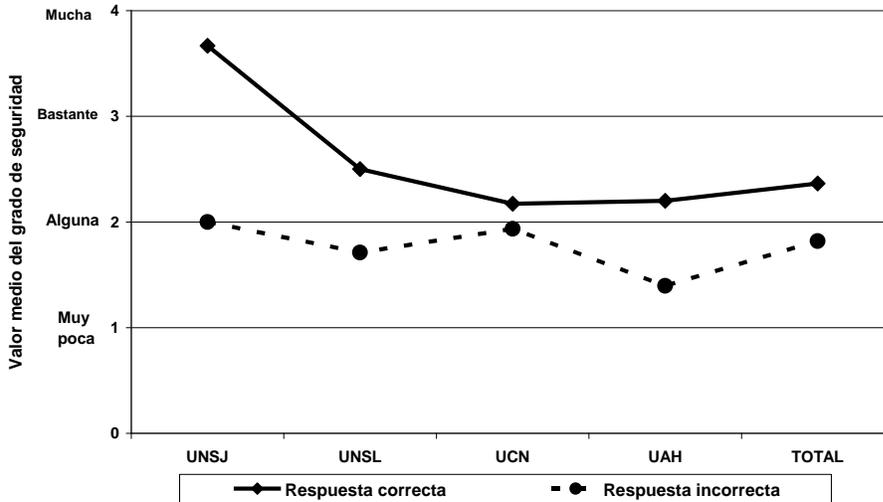


Figura 16. Seguridad en la respuesta. Circuitos eléctricos

c) Ley de Coulomb

13. 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:



13.1. 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

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

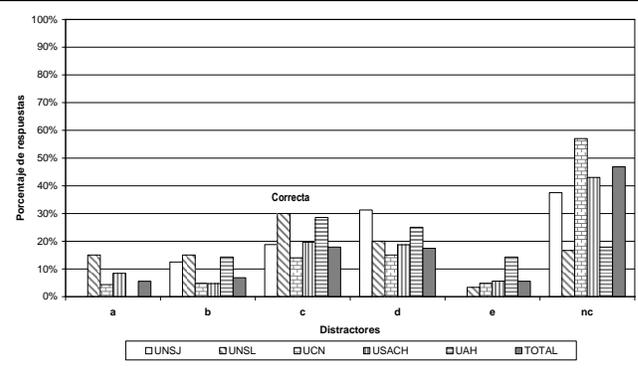
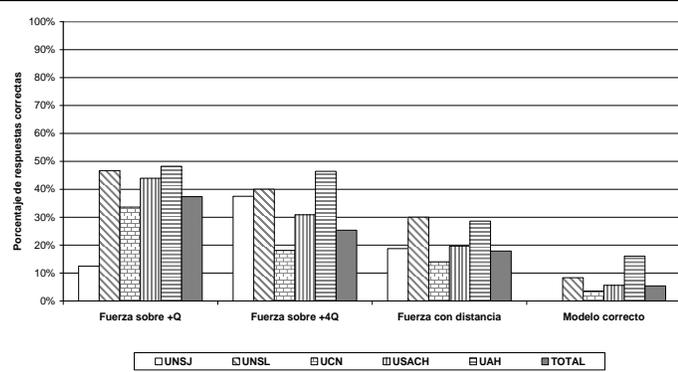
- ((a) 16F (b) 4F (c) F (d) F/4 (e) otra

13.3. 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



a) Respuestas correctas

b) Distractores elegidos por los estudiantes cuando se cambia la distancia

Figura 17. Ley de Coulomb.

En la figura 17 a) se presenta el porcentaje de respuestas correctas para cada una de las situaciones planteadas sobre la ley de Coulomb, así como el porcentaje de alumnos que parecen tener el modelo correcto por haber respondido correctamente en los tres casos, porcentaje que no llega al 10% del total. Alrededor de un 40% de los alumnos responde correctamente la primera pregunta (Fuerza sobre Q, cuando la otra carga pasa a valer 4Q). Pero cuando se pregunta, en las mismas condiciones, cuál es la fuerza sobre 4Q, el porcentaje de respuestas correctas desciende a un 25%. La excepción es la UNSJ. Estos resultados, además de indicar falta de comprensión de la ley de Coulomb, ponen de nuevo en evidencia la incompreensión del principio de acción y reacción.

Cuando se pregunta por el valor de la fuerza al multiplicar por 3 la distancia entre las cargas, el porcentaje total de respuestas correctas desciende hasta el 18%. El análisis de distractores (Figura 17 b) indica la existencia de una opción errónea tan elegida como la propia correcta: un 17% señala que la

fuerza disminuye a $F/3$. Los alumnos no han tenido en cuenta que la relación proporcionada afirma que la fuerza varía con el cuadrado de la distancia.

Los datos resultan importantes más allá de su valor específico dentro de la Electrostática, dado que la utilización de relaciones proporcionales es habitual en la enseñanza de la Física. Así la ley de la Gravitación Universal es otro ejemplo de una proporcionalidad directa con las masas implicadas e inversa con el cuadrado de la distancia.

Menos del 10% (en todas las universidades) se declaran seguros en esta pregunta. Salvo en UNSJ y UNSL, los alumnos que responden correctamente se muestran algo más seguros de los que lo hacen de forma errónea, pero la diferencia es pequeña. De nuevo, la falta de comprensión de la situación sobre la que se pregunta se traduce en una baja seguridad en las respuestas.

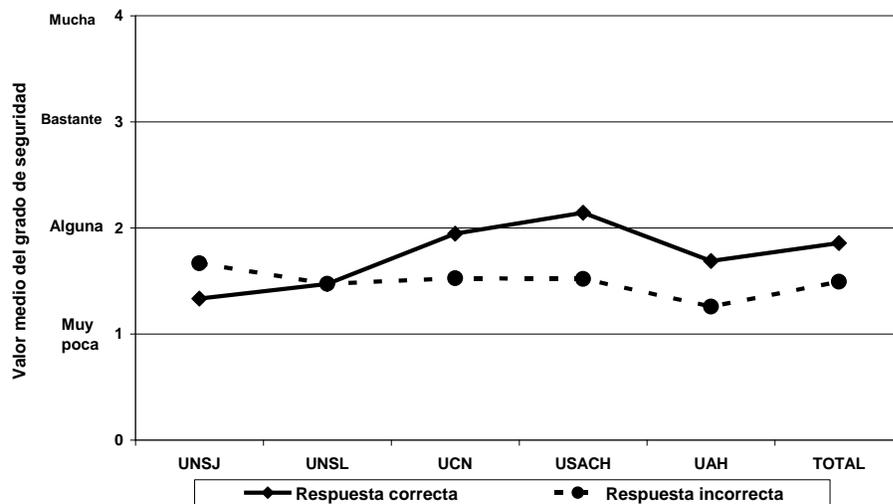


Figura 18. Seguridad en la respuesta. Ley de Coulomb

A modo de síntesis podemos plantear que:

1. Los alumnos manejan deficientemente conceptos matemáticos importantes como relaciones trigonométricas sencillas, conceptos vectoriales como el módulo de un vector y, muy especialmente, el concepto de derivada.
2. Las dificultades son todavía mayores con los conceptos físicos básicos. Los estudiantes presentan ideas alternativas de tipo pre-newtoniano en la conceptualización de las leyes de la dinámica - necesidad de una fuerza en la dirección del movimiento, no asimilación del concepto de interacción mutua (principio de acción y reacción), etc. -. También confunden los conceptos de fuerza y energía.
3. Después de décadas de investigación didáctica, y novedosas propuestas instruccionales, persisten concepciones erróneas y poco científicas en los alumnos que llegan a la universidad
4. La efectividad que tuvo la enseñanza secundaria para que los alumnos estudiados adquiriesen conceptos científicos básicos resulta insuficiente. Tampoco la enseñanza tradicional en los primeros cursos universitarios fue eficaz para lograr una comprensión apropiada de conceptos básicos de la Física en los alumnos estudiados. No se debe seguir ignorando la falta de efectividad de la enseñanza de la Física en muchos cursos introductorios de la universidad. La introducción de métodos de aprendizaje activo puede abrir vías de solución al problema.

BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, J.A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de los cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias* 7 (3), pp. 241-246.
- BLISS, J., MORRISON, I. y OGBORN, J. (1988). A longitudinal study of dynamics concepts. *International Journal of Science Education*, 10 (1), pp. 99-110.

- BLOOM, B. (1972). *Taxonomía de las Metas Educativas. Tomo I: Ámbito del Conocimiento*. Alcoy: Marfil
- BURNS, J.C., OKAY, J.R. & WISE, K.C. (1985). Development o an Integrated Process Skill Test: TIPS II. *J.R.S.T.* 22 (2), pp. 169-177.
- CARRASCOSA, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las Ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, pp. 66-71.
- DILLASHAW, F.G. & OKAY, J.R. (1980). Test of the Integrated Science Process Skills. *Science Education* 64 (5), pp. 601-608.
- of propositional logia and formal operacional chemata during the secondary school years. *Journal of Research in Science Teaching* 15 (6), 465-478.
- MALONEY, D.P. (1984) Rule-governed approaches to physics Newton's third law. *Physics Education* 19, 37-42.
- MALONEY, D. P., O'KUMA, T. L., HIEGGELKE, C. J. y VAN HEUVELEN, A. (2001). Surveying Students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(7), pp. S12-S23.
- McDERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today* 37, 24-32.
- McDERMOTT, L.C. (1991). What we teach and what is learned – Closing the gap (Millikan Lecture 1990). *American Journal of Physics* 59 (4), 301-315.
- NIEDA, J., CAÑAS, A. & MARTÍN-DÍAZ, M.J. (2004). *Actividades para evaluar Ciencias en Secundaria*. Madrid: A.Machado Libros.
- OBI (2001). *Física, Primeros exámenes :2003*. Ginebra: OBI.
- OECD (2000). *Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. (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, 2001. Madrid: MEC- INCE).
- OECD (2001). *Knowledge and Skills for Life. First Results from PISA 2000*. Paris: OECD.
- OECD (2003). *Literacy Skills for the World of Tomorros. Further Results from PISA 2003*. Paris: OECD
- 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).
- PĪAGET, J. e INHELDER, B. (1969). *The Psychology of the Child*. New Cork: Basic Books.
- PRO BUENO, A. de (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias* 16 (1), pp. 21-41.
- SALINAS DE SANDOVAL, J., CUDMANI, L.C. de y PESA DE DANÓN, M. (1996) Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias* 14 (2), pp. 209-220.
- TERRY, C. y JONES, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of science Education* 8 (3), pp. 291-298.
- TVERSKY, A., y KAHNEMAN, D. (1982). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. En Kahneman, D., Slovic, P. Tversky, A. (Eds.). *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 163-178). Cambridge: Cambridge University Press.
- VIENNOT, I. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of science Education* 1, pp. 205-221.
- WANG, M.C., HAERTEL, G.D. y WALBERG, H.J. (1993). Toward a Knowledge Base for School Learning. *Review of Educational Research* 63, pp. 249-294.
- WATTS, D. y ZYLBERSZTAJN, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16, pp.360-365.