

Conocimientos de física de alumnos universitarios Influencia de las reformas educativas

Julio V. Santos Benito, Albert Gras-Martí

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Alicante. Apt. 99, 03080 Alicante.
E-mail: Julio.Santos@ua.es, agm@ua.es

Resumen: Se aportan datos, obtenidos a lo largo de varios años, sobre los conocimientos de cuestiones básicas de Física y la interpretación que de algunos fenómenos físicos elementales hacen nuestros alumnos. El estudio usa dos instrumentos analíticos (cuestionarios y tests) y se centra en alumnos de carreras científicas, tanto recién ingresados como a punto de egresar. Los resultados permiten contrastar la hipótesis de una evolución negativa en el grado de aprendizaje de alumnos que han recorrido las recientes reformas educativas (LOGSE y Universidad).

Se concluye que no se puede afirmar que la situación educativa actual, en los aspectos analizados, es peor que la anterior a las reformas. Se demuestra, eso sí, que la situación es, y viene siendo, objetivamente preocupante. Si se desea incidir en esta realidad educativa, una posible vía de acción pasa por hacer un mayor uso de los resultados de la Investigación en Didáctica de las Ciencias.

Abstract: We show data, obtained along several years, about the mastering of basic questions in Physics and the interpretation of some elementary daily physical phenomena by our students. Two analytical instruments are used in the study (questionnaires and tests) which address pupils in scientific careers, both those just finishing the degree as well as those starting it. The results allow us to contrast the hypothesis claiming a negative evolution in the degree of learning by students that have gone through recent educational reforms (LOGSE and University).

We conclude that one cannot claim that the present educational situation is worse, in the aspects analyzed, than before the reforms. It is shown, however, that the situation is, and has been, objectively worrying. If one wishes to address this educational reality, a possible route for action is via a major use of the results of Science Education Research.

Palabras clave: Conocimientos de física, investigación didáctica, reformas educativas, estudiantes universitarios.

Introducción

Desde la última década del siglo XX se vienen produciendo grandes cambios en el sistema educativo español, tanto en los niveles primario y secundario, como en la enseñanza superior. La culminación, más o menos fiel al proyecto inicial, de las reformas previstas con la LOGSE, que han

llevado a profundas remodelaciones de la ESO así como del bachillerato, se ha solapado en el tiempo con significativas remodelaciones de los planes de estudios de la mayoría de las carreras universitarias.

Se oyen a menudo en los medios de comunicación comentarios críticos sobre los efectos que han tenido estos cambios educativos sobre los conocimientos que adquieren los estudiantes. También es muy frecuente escuchar en los pasillos universitarios conversaciones pesimistas referidas, sobre todo, a los alumnos recién llegados al Campus. Uno de los propósitos de este trabajo es aportar pruebas en el sentido de que las opiniones vertidas por unos y por otros son diagnósticos, sospechas o intuiciones no fundamentadas, que no resisten un análisis científico de la situación educativa.

Una de las características de la Investigación en Didáctica de las Ciencias, como toda actividad científica, es que trata de abordar los problemas educativos con una metodología científica. Por tanto, se trata de identificar el problema objeto de estudio, acotarlo, avanzar hipótesis, diseñar instrumentos para contrastar estas hipótesis y, sobre todo, analizar los resultados obtenidos dejando de lado prejuicios (o preconcepciones) que puedan distorsionar las conclusiones que se obtengan.

Entre los alumnos que llegan a la Universidad es muy frecuente encontrar errores de interpretación en el estudio de algunos fenómenos físicos, errores que presentan una especial dificultad de erradicación (Sebastia, 1984), según hemos podido constatar, además, a través de nuestra experiencia profesional. Esta erradicación implica un *cambio conceptual* (Hewson, 1981; Posner, 1982) desde la preconcepción del alumno a una concepción más acorde con el punto de vista científico. Hashweh (1986) señala como coadyuvantes de la persistencia de las preconcepciones erróneas factores de tipo psicológico y el *desconocimiento por parte del profesorado de las ideas previas de sus alumnos*, razón por la que en las últimas décadas del siglo anterior se han realizado numerosos trabajos en orden no sólo a detectar estas *ideas previas o bagaje preconceptual* (Osborne, 1983; Driver, 1986; Santos, 1986) sino también a proporcionar metodologías alternativas para modificar las ideas previas erróneas (Carrascosa et al., 1993; Furió, 2001; Hierrezuelo y Montero, 1991).

A continuación enunciaremos las hipótesis en que se basa nuestro estudio, y las herramientas que se han diseñado para tratar de verificar estas hipótesis. Luego mostraremos y analizaremos los resultados obtenidos, y sacaremos las conclusiones pertinentes.

Hipótesis y objetivos

En este trabajo nos proponemos aportar elementos para el debate que se plantea muchas veces, a lo largo de todas las etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje, y especialmente cuando se han producido cambios legales o de paradigmas educativos: ¿Vamos por el buen camino? ¿Han sido beneficiosos los cambios de rumbo o de modelo educativo? Con el fin de contrastar hipótesis ampliamente difundidas en el sentido de una evolución negativa en el grado de aprendizaje de los alumnos tras los recientes cambios en el sistema educativo (LOGSE, ESO, Bachillerato, Nuevos planes

de estudios universitarios), analizaremos datos obtenidos a lo largo de varios años. En particular, se ha elaborado el perfil general del alumno de Ciencias que ingresa en la Universidad de Alicante, en relación al conocimiento de algunos conceptos básicos de Física y a la interpretación de algunos fenómenos físicos elementales.

Los estudios que presentaremos contribuyen a contrastar dos hipótesis:

- I) Hay diferencias significativas (a peor) en el grado de conocimientos que muestran los alumnos de hoy en día con los que tenían alumnos anteriores a la reforma educativa en la enseñanza secundaria.
- II) Los nuevos planes de estudio universitarios han supuesto una mejora del nivel de conocimientos de nuestros alumnos.

Hemos formulado, a propósito, las dos hipótesis en "sentido positivo", es decir, de la manera que se formulan habitualmente, sin aportar prueba alguna, ~~extraída de en~~ los medios de comunicación o ~~en de~~ "charlas de café" en ~~los muchos~~ ambientes educativos, especialmente en los universitarios.

Surge así el objetivo nuclear de nuestro trabajo: elaborar el perfil del alumno de Ciencias que inicia sus estudios en la Universidad, en relación al conocimiento de algunos conceptos básicos de Física, y analizar su evolución tras algunos cursos universitarios. Con ello evaluaremos la influencia de los diferentes planes de estudio de carreras universitarias. Un segundo objetivo es cuantificar las diferencias, si existen, en cuanto al nivel de preparación de los alumnos en este área de conocimiento, en función del Centro en el que inician sus estudios universitarios.

Se trata, pues, de conocer lo que pudiéramos llamar el bagaje conceptual de los alumnos. Este objetivo se concreta en conocer su respuesta a cuestiones como las que se recogen en el Cuadro 1. En algunos casos, como en el estudio de los fenómenos dinámicos, este perfil va a ser el resultado de la interacción entre su bagaje preconceptual y la información recibida, no siempre correcta (Lehrman, 1982) a lo largo del proceso educativo en la sucesivas etapas (primaria, secundaria y preuniversitaria). En otros, el perfil va a definir el grado de comprensión/asimilación de otros conceptos físicos que, con toda probabilidad, no figuran en su bagaje preconceptual, como es el caso de las magnitudes eléctricas, intensidad de corriente y diferencia de potencial, pero que sí ~~que~~ han sido objeto de estudio en la Universidad.

El bagaje conceptual preuniversitario de los alumnos de Ciencias que inician sus estudios en la Universidad se ha centrado en cuestiones básicas de Física como las siguientes:

- Cómo interpretan el movimiento de caída libre- Cómo relacionan la variación de aceleración con la variación de velocidad.
- Cómo relacionan la fuerza aplicada con la variación de velocidad que produce.
- Cómo relacionan la variación de fuerza aplicada con la variación de aceleración.
- Qué identificación hacen de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo:
 - o lanzado verticalmente hacia arriba, tanto en el ascenso como en el descenso.
 - o con movimiento circular.
 - o con movimiento parabólico.
- Cómo relacionan la fuerza aplicada con la dirección y sentido del movimiento.
- Cómo relacionan la dirección y sentido de la fuerza aplicada con la dirección y sentido de la aceleración.
- Cómo interpretan la tercera ley de la dinámica (interacción entre cargas eléctricas).
- Qué identificación hacen de los tipos de corriente eléctrica.
- Cómo interpretan la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.
- Cómo interpretan la intensidad de la corriente eléctrica en un circuito.

Cuadro 1.- Cuestiones básicas de Física.

Muestra e instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados para la contrastación de las hipótesis a que se refiere este trabajo son dos: tests y cuestionarios. La recogida de datos se ha llevado a cabo durante varios años (en algunos casos hasta 6 años) y se refiere a los siguientes colectivos de alumnos:

- Alumnos que inician los estudios universitarios en carreras con contenido científico.
- Alumnos que se encuentran en la segunda mitad de sus estudios (3º y 4º curso) de la carrera de Ciencias Químicas.

Como instrumento para la recogida de los datos se utilizó un cuestionario anónimo conformado por un gran número de ítems sobre los temas indicados en el apéndice A. Para facilitar la comparación de resultados, así como una agrupación de respuestas que permitiera obtener un perfil más definido del alumno que ingresa en la Universidad en cuanto a sus conocimientos de Física, se optó por un cuestionario *cerrado* que fue presentado a los alumnos para su cumplimentación en los primeros días del curso.

La población y la muestra en que se basa el grueso de este trabajo ~~es la siguiente se muestra en la tabla 1~~. Siendo uno de los objetivos del proyecto obtener el perfil del alumno de Ciencias que ingresa en la Universidad de Alicante, la población está constituida por todos los alumnos que iniciaron

sus estudios el curso 93-94 en aquellos Centros de esta Universidad en los que aparece la asignatura *Física* en sus planes de estudio: Facultad de Ciencias, Facultad de Medicina, E.U. de Óptica y E.U. de Magisterio (especialidad Ciencias), con lo que la población y la muestra quedaron establecidas como recoge la tabla 1. Estos alumnos no habían estado expuestos a reformas educativas recientes en Secundaria o en la Universidad.

Centro	Población	Muestra
Facultad de Medicina	110	105
Facultad de Ciencias	170	87
E.U. de Óptica	184	61
E.U. de Magisterio	64	58
Total	528	311

Tabla 1.- Número de alumnos de la población y de la muestra para el estudio de la situación inicial de los alumnos.

Para el estudio del grado de conocimientos de los alumnos universitarios, en concreto de la carrera de Químicas, nos hemos basado en cuestionarios y tests cumplimentados por nuestros alumnos de los dos últimos cursos de carrera a lo largo de los últimos cuatro cursos académicos.

Resultados y discusión

Sólo se discutirán aquí algunos de los resultados obtenidos con las herramientas mencionadas¹. Los datos que se mencionan en primer lugar se refieren a las poblaciones y muestras de la tabla 1. Corresponden a alumnos que han iniciado sus estudios universitarios el curso 93-94 y, por tanto, no han estado casi expuestos a las reformas educativas mencionadas.

Del análisis de las respuestas de los alumnos a ítems elementales de mecánica (que incluyen cuestiones como tiempo de caída de papeles arrugados y sin arrugar, objetos de diferente masa, etc., con y sin aire presente), se concluye que únicamente el 39% de los alumnos hacen una interpretación correcta de los factores que definen el movimiento de caída libre. Por ejemplo, el 42% de los alumnos establece una relación directa entre el peso del cuerpo y la velocidad de caída, tanto en el aire como en el vacío. En un trabajo anterior (Santos, 1986), realizado con alumnos del 5º nivel de EGB, es decir, del nivel inmediatamente anterior al primer contacto de los alumnos con el estudio de los fenómenos físicos, se detectó que el 52% de los alumnos establece también una relación directa entre el peso y la velocidad de caída. La información recibida a lo largo de la EGB y en el Instituto únicamente ha producido, pues, un pequeño aumento del 10% ~~de~~ en las interpretaciones correctas.

¹ La lectora o el lector interesado puede solicitar las muestras completas de tests, cuestionarios y resultados detallados a uno de los autores (JVSJ).

Otros resultados que se deducen de nuestro estudio, a partir de cuestiones cinemáticas sencillas, y que se pueden encontrar en otras investigaciones didácticas (McDermott et al., 1987; Hestenes et al., 1992), es que cuando los alumnos se enfrentan a una gráfica de la aceleración en función del tiempo de forma poligonal sencilla, interpretan erróneamente (entre un 70% y un 90% de los mismos) la variación de la aceleración y la variación de la velocidad.

Los aspectos dinámicos no son mejor comprendidos. La relación entre fuerza aplicada y variación de velocidad, a la vista de un gráfico poligonal $F(t)$ sencillo, sólo se interpreta adecuadamente cuando la fuerza es creciente (90% de respuestas correctas), pero no si ésta es constante o decrece con el tiempo (sólo 26% y 6% de respuestas correctas, respectivamente).

El porcentaje de respuestas correctas al resto de los ítems del cuestionario indicado en el apéndice A es igualmente bajo. Y, como ha mostrado repetidamente la investigación didáctica en otros casos (Furió, 2001), las dificultades de comprensión se acentúan cuando se introducen temas de gravitación o fenómenos eléctricos.

Los resultados de este estudio se recogen en la Tabla 2. Multiplicando el número de alumnos N por el número de cuestiones ($n = 31$) se obtiene la puntuación máxima del examen, P_M . Ello permite obtener la calificación media por centro, C_M , a partir de la suma de las obtenidas por cada colectivo, P_C . Se han ordenado los centros de acuerdo con la calificación media obtenida. De los datos resultantes se deduce que existen diferencias en el nivel conceptual de los alumnos que ingresan en los distintos Centros de la Universidad de Alicante, siendo los de la Facultad de Medicina los que, sin llegar al *aprobado*, obtienen la mayor calificación (4.47 puntos sobre 10). Para un análisis estadístico detallado de los resultados.

Centro	Nº de alumnos N	Puntuación máxima $P_M = n \cdot N$	Puntuación por centro P_C	Calificación media $C_M = 10 \cdot P_C / P_M$
Medicina	105	3255	1454	4,47
Químicas	87	2697	1145	4,25
Profesor de Primaria (Ciencias)	58	1798	713	3,97
Óptica	61	1891	692	3,66
Total	311	9641	4004	4,15

Tabla 2: Resultados de los tests y cuestionarios pasados a los colectivos indicados en la tabla 1. ~~(El número de ítems en el estudio es $n = 31$).~~

En cuanto a los conocimientos de los alumnos de los dos últimos cursos de la licenciatura de Ciencias Químicas de la UA, nos hemos basado en el período 1997-98 a 2000-01. Se trata, por tanto, de alumnos que han cursado la carrera con los planes de estudio renovados. Se les ha preguntado cuestiones elementales de física, del estilo de las mencionadas en el caso de alumnos que iniciaban sus estudios universitarios. Vamos a

mostrar sólo un par de ejemplos concretos de los resultados de la encuesta, y a comentar brevemente los resultados por apartados. La tabla 3 muestra un ejemplo referido a la fuerza de empuje en un fluido, y la tabla 4 muestra las respuestas a uno de los ítems de dinámica de rotación.

Cuanto mayor sea el peso del cuerpo, el empuje es:				
Número de alumnos	97-98	98-99	99-00	00-01
a) mayor (%)	84	111	70	100
b) menor (%)	68	22	14	43
c) es independiente (%)	22	36	58	19
d) no lo sé (%)	0	21	14	33
	0	21	14	5

¿Depende el empuje de la forma del cuerpo sumergido?				
Número de alumnos	97-98	98-99	99-00	00-01
Si (%)	63	89	150	100
No (%)	90	46	27	38
No lo sé (%)	5	27	66	53
	5	27	7	9

Tabla 3.- Muestra típica de respuestas de alumnos de Químicas, 3° o 4° curso. (La respuesta correcta es la c) ~~línea central, "No"~~.

Sobre un satélite artificial que gira alrededor de la Tierra actúan las siguientes fuerzas...				
Porcentaje de alumnos	97-98	98-99	99-00	00-01
Una fuerza centrípeta y una centrífuga	23	12	13	13
Ídem, y una fuerza en la dirección de movimiento	9	6	13	23
Una fuerza centrípeta	26	46	37	29
Una fuerza centrípeta y otra en la dirección del movimiento	33	18	37	26
Ninguna de estas opciones	9	18	0	9

Tabla 4.- Muestra típica de respuestas de alumnos de Químicas, 3° o 4° curso. (Se ha sombreado la respuesta correcta).

Los resultados correspondientes a cuestiones de cinemática, empuje, fuerza y movimiento y presión son muy similares a los mostrados en las tablas 3 y 4. Se evidencian deficiencias muy básicas en la formación de los alumnos universitarios encuestados. El plan de estudios en vigor no parece muy acertado dado el bajo nivel conceptual mostrado por nuestros alumnos después de haber superado tres cuatrimestres de Física en la carrera, sobre todo si se considera el carácter tan elemental de las cuestiones planteadas. Si la simple lectura de los resultados puede resultar desoladora, más aún es la conclusión que se deduce del análisis de las respuestas dadas por los alumnos a ciertos ítems que, relacionados entre sí y diseñados a efectos de detectar contradicciones, ponen de manifiesto la poca solidez de sus conocimientos (Santos, 1996).

Algunos de los alumnos de la carrera de Químicas a los que se pasaron los tests anteriores son parte del colectivo que inició sus estudios en el curso 93-94 (tabla 1). Aunque sería interesante plantear un estudio similar con estudiantes avanzados de las carreras de Óptica, Medicina y Profesor de Primaria, nuestra experiencia nos dice que los resultados que cabe esperar no serán mejores que los mostrados. Por otra parte, son necesarios estudios más amplios, que abarquen otras disciplinas (no solamente la Física) que analicen el grado de asimilación de éstas por nuestros alumnos.

Conclusiones

Los Departamentos Universitarios, a la hora de confeccionar los programas y diseñar los objetivos de las respectivas asignaturas de Física, se encuentran con la disyuntiva de ignorar la realidad del alumno, responsabilizándole de sus deficiencias educativas (conceptuales, instrumentales, actitudinales, etc.) o, por el contrario, asumir esa realidad elaborando programas en los que se contemple la revisión de aquellos conceptos o fenómenos en los que la incidencia de las concepciones erróneas sea más acusada. A tal efecto, es preciso destacar la labor desarrollada por Hierrezuelo y Montero (1991) al proporcionar una revisión bibliográfica relativa a las ideas previas en Física y Química que se han descrito en la literatura especializada.

Los resultados bosquejados en esta comunicación aportan datos que indican que no se realiza el esfuerzo necesario en ese sentido.

Las conclusiones más importantes de este trabajo, son las siguientes:

1. No se puede demostrar, con los datos en la mano, que los alumnos actuales tengan peores conocimientos de física elemental que los de años anteriores a las reformas educativas en la enseñanza secundaria.
2. Sí que se puede concluir que los recientes cambios en los planes docentes universitarios siguen generando grandes lagunas en nuestros alumnos.
3. En todos los casos, y especialmente en la enseñanza universitaria, la reducción drástica de la cantidad de horas dedicadas a materias básicas o instrumentales como la física, está teniendo efectos muy perniciosos sobre el grado de formación científica del alumnado universitario de Ciencias. Ello se deduce del hecho de que los conceptos más elementales de física no son conocidos por los alumnos de cursos superiores. (Esto puede deberse, en parte, a la reducción horaria de las asignaturas de los nuevos planes, y a la consiguiente eliminación de algunos contenidos, especialmente los introductorios o básicos).

Resulta obvio, por otra parte, la necesidad de realizar más trabajos de campo del estilo del presente, para aportar datos y pruebas de las conclusiones anteriores. Estos trabajos tendrían que abarcar otras materias científicas a parte de la física, aunque el carácter básico e instrumental de ésta en muchas carreras científico-técnicas (y en especial en la de Química) confieren un significado e interés especial a nuestro trabajo.

También sería conveniente evaluar otros aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje que incluyan otras capacidades de tipo cognitivo (como la capacidad de abordar problemas abiertos, de formular hipótesis ante nuevos problemas científicos, etc.), y destrezas de todo tipo (capacidad de síntesis, de elaboración de memorias, de habilidades informáticas, etc.), con el fin de tener un diagnóstico más completo de la realidad de nuestros alumnos hoy en día.

Terminaremos citando una de las conclusiones de Guisasola et al. (2002): "Así pues, creemos que la enseñanza universitaria de la Física aparece como una tarea compleja que constituye un campo propio de investigación (Gil, 1994; Fraser y Tobin, 1998). El papel de la investigación en didáctica de la Física puede ser el de iniciar nuevas y mejores estrategias de enseñanza en las clases de teoría y problemas, así como en las prácticas de laboratorio y, controlar sus efectos tanto en el aprendizaje y comprensión de la Física como en la motivación por su aprendizaje. La investigación en Didáctica de la Física debería impulsar y controlar la calidad de las innovaciones educativas, si los colegas de los departamentos de Física toman conciencia de la necesidad de realizar investigación didáctica en los propios departamentos y de cooperar entre investigadores en didáctica y profesores".

Referencias bibliográficas

Carrascosa, J., Fernández, I., Gil, D., y Orozco, A. (1993). Análisis de algunas visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencias y las características del trabajo científico. *Enseñanza de las Ciencias* número extra (IV Congreso), 43-44.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.

Fraser, B. y Tobin, K.G. (1998). *International Handbook of Science Education*. London: Kluber Academic Publishers.

Furió, C. J. (2001). La enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente. En J. G. Aranzabal y L. Pérez de Eulate (Eds.), *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada*. Servicio editorial Universidad del País Vasco, Euskal Herriko Unibertsitatea.

Gil, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: Realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 154-164.

Guisasola, J., Gras-Martí, A., Martínez-Torregrosa, J., Almudí, J.M., y Becerra Labra, C. (2002). La enseñanza universitaria de la física y las aportaciones de la investigación en didáctica de la física. *Rev. Esp. de Física* (en prensa).

Hashweh, M.Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, (3), 383-396.

Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.

Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning Science. *European Journal of Science Education*, (3), 383-396.

Hierrezuelo, J., Montero, A. (1991). *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Vélez-Málaga: Ed. Elzevir.

Lehrman, R.L. (1982). Confused physics: A tutorial critique. *The Physics Teacher*, (20), 519-523.

McDermott, L.C., Rosenquist, M.L., y van Zee, E.H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55 (6), 503-520.

Osborne J. (1983). Science teaching and children's view of the world. *European Journal of Science Education*, (5), 1-14.

Posner, A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, (66), 211-227.

Santos; J.V. (1986). Elaboración de un inventario de opiniones. Análisis de la interpretación que de los fenómenos físico-naturales hacen los alumnos del Ciclo Medio de EGB. *Recerca*, (3), 1-10.

Sebastia, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, (2), 161-169.