

**DIFERENCIAS EN LA EVOLUCION DE LAS PRECONCEPCIONES
EN DISTINTOS DOMINIOS CIENTIFICOS
(Differences in the Evolution of the Preconceptions
in Different Scientific Domains)**

J. CARRASCOSA, I. FERNANDEZ, D. GIL y A. OROZCO

Departamento de Didáctica de las Ciencias

Universitat de València

España

RESUMEN

Aunque se han detectado gran cantidad de preconcepciones en la mayor parte de los dominios científicos, la existencia de ideas alternativas profundamente arraigadas y difíciles de erradicar no afecta por igual a todos ellos. En este trabajo se intenta mostrar que, efectivamente, existen profundas diferencias entre las preconcepciones de los distintos campos de las ciencias, sugiriendo el posible origen de las mismas.

ABSTRACT

Although a great number of preconceptions have been detected in most scientific domains, the existence of deeply rooted and difficult to remove alternative conceptions does not affect all these domains in the same way. In this study we try to show that, in fact, there are profound differences among preconceptions in different fields of science, suggesting the possible origin of them.

I. INTRODUCCION

Desde hace bastante tiempo se conoce el hecho de que los alumnos cometen con cierta frecuencia graves equivocaciones que en muchos casos afectan a conceptos científicos importantes (Bachelard, 1938). Sin embargo podemos afirmar que sólo hace poco más de una década que coincidiendo con la publicación de trabajos, como la tesis doctoral de Viennot (1976), se inicia un proceso sistemático de estudio de las denominadas "concepciones alternativas" de los estudiantes.

La gran relevancia de los resultados obtenidos en el campo de la Mecánica (McDermott, 1984; Driver, 1988), supuso una seria llamada de atención sobre la eficacia de los modelos de enseñanza habituales, que se revelaron incapaces de solucionar el problema.

No es pues de extrañar que:

- 1) Se hayan generalizado las investigaciones destinadas a detectar concepciones alternativas de los alumnos en casi todos los dominios científicos. No solamente en Física (Mecánica, Calor, Electricidad, Óptica, etc) sino también en Química, Biología y Geología (Osborne y Wittrock, 1983; Carrascosa, 1985; Jimenez, 1987).
- 2) Se haya dedicado una especial atención al estudio de cómo se originan y consolidan muchas de las preconcepciones científicas. Los resultados obtenidos en este campo han contribuido sin duda al desarrollo de la concepción constructivista del aprendizaje de las ciencias. Según dicha concepción, los que aprenden construyen activamente su propio aprendizaje. El proceso se realiza, no por el simple añadido desde el exterior de unos conocimientos con un significado ya dado, sino mediante la utilización del conocimiento preexistente que interacciona con la nueva información y se utiliza para interpretarla, para darle sentido (Driver, 1988; Novak, 1988; Moreira y Novak, 1988).
- 3) Dentro de los cambios más o menos drásticos que se proponen para mejorar el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias se ha concedido una especial importancia a las estrategias destinadas a superar las concepciones alternativas de los alumnos, como por ejemplo: Cambio conceptual (Hewson, 1981; Posner et al., 1982), Utilización de mapas conceptuales (Moreira, 1987), Cambio de comprensión (Hodson, 1988) y Cambio conceptual y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985; Hashweh, 1986).

Lógicamente todas las líneas de investigación apuntadas están interrelacionadas y se realizan de forma simultánea habiendo producido ya algunos interesantes resultados que gozan de un amplio consenso entre gran parte de la comunidad que se dedica a la investigación didáctica.

No obstante a pesar de ello, recientemente se han ex

presado algunas serias preocupaciones que conviene tener en cuenta. Así, por ej., Fischer y Lipson respondiendo a Good (1988), señalan:

"Advertimos contra la simple recopilación en forma de listas con la descripción de los errores conceptuales de los estudiantes, un proceso que puede ser hecho sin dificultad. Mejor sería realizar un esfuerzo considerable para distinguir entre las preconcepciones alternativas persistentes y las fácilmente erradicables, para descubrir algo acerca de las fuentes de las resistentes al cambio y los más importante, para idear procedimientos más efectivos para cambiarlas".

Es precisamente en esta línea de investigación en donde se enmarca el presente trabajo, que intenta dar respuesta a algunas de estas cuestiones.

Comenzaremos señalando que la gran abundancia de concepciones alternativas que se han recogido en prácticamente todos los campos científicos, puede llevar a pensar que la existencia de ideas erróneas sólidamente arraigadas es general afectando por igual a los distintos dominios de la Ciencia.

En nuestra opinión, sin embargo, esta visión homogénea y uniforme es contradictoria con los modelos teóricos que se han elaborado para explicar el origen, consolidación y persistencia de las preconcepciones científicas. Modelos que además tienen importantes consecuencias a la hora de fundamentar posibles estrategias para el tratamiento de dichas preconcepciones.

En un trabajo anterior (Carrascosa y Gil, 1986) mostrábamos cómo parecían existir profundas diferencias entre algunas preconcepciones científicas en Mecánica y otras de Quimica. Nuestra intención ahora, es continuar y profundizar el estudio allí iniciado ampliando los campos científicos considerados y realizando un diseño de abordaje múltiple para contrastar nuestra hipótesis, recurriendo, entre otros, a estu

diar la evolución de la persistencia de las preconcepciones, la seguridad con que se sostienen, la facilidad con que se detectan errores asociados a dichas preconcepciones, el efecto que sobre ellas tiene una enseñanza que se plantea explícitamente su superación, etc y finalizando con algunas implicaciones didácticas de los resultados obtenidos.

II. LA MECÁNICA COMO UN OBSTACULO MAYOR

Según la teoría constructivista del aprendizaje, las preconcepciones científicas de los alumnos no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que se hayan estructuradas dentro de verdaderos esquemas conceptuales que tienen una cierta coherencia interna y que juegan un papel esencial en el proceso de aprendizaje (Clough y Driver, 1986).

El origen y la consolidación de muchas de estas preconcepciones está ligado, como ya hemos mostrado en otro lugar (Carrascosa y Gil, 1985, 1990) a la interpretación superficial de las experiencias cotidianas. Se trata de un proceso que conduce a través de generalizaciones acríticas, a "evidencias de sentido común" que suministran explicaciones aparentemente coherentes de la realidad.

Pues bien, si el origen de estas "ideas intuitivas" y sobre todo de la dificultad de modificarlas han de relacionarse con las evidencias de sentido común, cabe esperar entonces que sea precisamente en campos como en la Mecánica donde resulten más difíciles de cambiar.

Como señala Viennot (1988): "Factor de fracasos crónicos en la enseñanza, la Mecánica, es a la vez un campo en el que la experiencia y el lenguaje corriente pesan por completo".

En efecto: el niño, desde bien pronto comienza a empujar objetos, lanzarlos, arrastrarlos, etc. Estas actividades reiteradas, en un mundo en donde el rozamiento está omnipresente, conducen consecuentemente a interiorizar "evidencias", como por ej. la asociación fuerza/movimiento, con un

vigor que las convierte en barreras epistemológicas de una solidez difícil de encontrar en otros campos del conocimiento menos ligados a acciones y sensaciones físicas tan directas y globalizadoras. Como es sabido, la potencia de ideas como la ya citada de asociación fuerza/movimiento u otras muy conocidas sobre caída de graves, es tan grande que permanecieron vigentes durante muchos siglos como constituyentes básicos del paradigma aristotélico-escolástico y su desplazamiento no fué nada fácil, exigiendo un profundo cambio metodológico (Gil y Carrascosa, 1985).

Este cierto isomorfismo es precisamente lo que nos ha llevado a hacer hincapié en la importancia de considerar seriamente estrategias de cambio metodológico como requisito necesario para conseguir cambios conceptuales verdaderamente significativos y duraderos.

En definitiva pues, la hipótesis fundamental de este trabajo consiste en afirmar que la existencia de preconcepciones científicas erróneas persistentes y difíciles de cambiar no afecta por igual a todos los campos del conocimiento científico, sino que se dan con mayor intensidad en aquellas áreas, como la Mecánica, en donde el carácter directo y reiterativo de sensaciones físicas, lenguaje cotidiano, etc, junto con la utilización de la metodología habitual o "del sentido común", llevan a consolidar estas ideas como verdades evidentes que no precisan ser cuestionadas.

Esta es la hipótesis fundamental del trabajo, de la cual podemos derivar las siguientes implicaciones:

- 1) La persistencia a través del proceso educativo de preconcepciones como las de Mecánica ha de ser en general, más alta que en otros campos de las ciencias.
- 2) Se ha de dar una mayor "seguridad" o confianza en las respuuestas erróneas cuando se refieren a cuestiones sobre Mecanica más ligadas, como hemos indicado a las evidencias de sentido común.

A continuación expondremos brevemente los diseños expo

perimentales elaborados con el fin de contrastar las implicaciones citadas.

III. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CONTRASTAR LAS POSIBLES DIFERENCIAS ENTRE PRECONCEPCIONES DE DISTINTOS CAMPOS

Para contrastar la hipótesis de que existen importantes diferencias entre las preconcepciones asociadas a experiencias de Mecánica y las de otros campos del conocimiento científico, hemos procedido a la realización de un diseño de abordaje múltiple que pasamos a describir a continuación.

En primer lugar se ha elaborado un cuestionario en el que incluimos un total de 17 cuestiones relativas a conocidas e importantes preconcepciones - abundantemente tratadas en la literatura - sobre Mecánica, otros aspectos de Física, Biología, Geología y Química (ver cuestionario A, en anexo).

Las preconcepciones seleccionadas, lo han sido no sólo por la importancia que se les atribuye, sino también porque se pueden detectar ya desde edades muy tempranas, permitiéndonos estudiar su evolución. Como puede comprobarse las cuestiones hacen referencia a conceptos básicos y aspectos claves de la ciencia, por ej. la idea de fuerza, la caída de graves, la respiración de las plantas, conceptos de elemento, mezcla, compuesto, herencia, etc.

Hemos de señalar que se ha tenido un especial cuidado en que sean de lectura fácil y comprensiva, realizando antes de su redacción definitiva algunos ensayos piloto y consultas a especialistas para asegurarnos de su inteligibilidad y corrección.

Con objeto de disminuir el porcentaje de respuestas aleatorias se ha incluido en las cuestiones la opción "no lo sé", advirtiendo en todos los casos a los alumnos que no duden en marcarla cuando no sepan que contestar. También se pide que los alumnos consignen, en cada cuestión que respondan, el grado de confianza que tienen en que su respuesta es cor-

recta mediante una valoración entre cero y diez (cero mínima seguridad - diez máxima seguridad).

El objetivo del cuestionario A, es analizar la evolución de la persistencia de las diversas preconcepciones científicas en él implicadas y del grado de confianza de los alumnos en las mismas, pasándolo a alumnos desde 7º de Educación General Básica - EGB (curso en donde prácticamente se comienza a enseñar ciencias en España) hasta 2º de Químicas en la Universidad (conviene señalar que en España la gran mayoría de los profesores de Física y Química de Enseñanza Secundaria, son licenciados universitarios de Químicas y que en 2º de Químicas es donde se trata la Mecánica por última vez).

Para ello hemos introducido los siguientes índices:

- 1) El porcentaje de respuestas erróneas en cada una de las cuestiones sobre el total de alumnos que responden la cuestión, en cada curso.
- 2) El porcentaje de respuestas erróneas seguras (entendiendo por respuesta errónea segura, únicamente aquella que siendo incorrecta, la nota de seguridad sea igual o mayor que 8), calculado sobre el total de alumnos de cada curso que responden la cuestión y la califican. Este índice, permite sobre todo, conocer en qué cuestiones las respuestas equivocadas se dan sin dudar, con una gran confianza, mostrando así la existencia de verdaderas barreras epistemológicas.
- 3) La nota media de seguridad en las respuestas equivocadas en cada cuestión y en cada curso.

Según nuestra hipótesis habría que esperar en general, valores más altos de los tres índices en las cuestiones de Mecánica y sobre todo, una disminución de estos índices con la escolarización mucho más lenta que en el resto de las cuestiones de Química, Biología, etc.

Estos efectos, serían aún más perceptibles al estudiar la evolución de los mismos índices cuando se calculen no para cada cuestión en particular, sino por bloques de cues

tiones. Con este objeto se han agrupado las cuestiones de la manera siguiente: Mecánica (2,7,12,14); otros aspectos de Física (4,8,10,15); Química (3,5,6,13,16); Biología y Geología (1,9,11,17).

Unos resultados satisfactorios mediante el cuestionario A, ya serían de por sí suficientemente indicativos acerca de la confirmación de la hipótesis.

No obstante con intención de aumentar la fiabilidad de los resultados, hemos procedido a ampliar el diseño contrastando la misma hipótesis desde otros ángulos. Así en segundo lugar se ha utilizado con otros alumnos un cuestionario B que incluye los mismos ítems que el A (por lo que no lo reproducimos), pero con las siguientes modificaciones:

- 1) Todas las cuestiones han sido contestadas deliberadamente de forma equivocada, presentando a los alumnos el cuestionario como resuelto por un compañero del curso anterior.
- 2) A los alumnos se les pide que se limiten a corregir únicamente aquellas cuestiones que en su opinión estén mal contestadas, advirtiéndoles expresamente que no corregir significa estar de acuerdo y que por lo tanto si no saben la cuestión han de señalar la opción "no lo sé".

La situación pues es ahora distinta. Los estudiantes están jugando el papel de profesor. No tienen que contestar nada sino tan sólo corregir aquello que piensen que es erróneo.

Dicha postura crítica podría favorecer mejores resultados; sin embargo, según nuestra hipótesis, caben esperar resultados coherentes con los primeros, lo que indicaría que las respuestas incorrectas en el cuestionario A no eran debidas a simple inatención sino fruto de convicciones arraigadas. Por razones evidentes este diseño no se ha pasado a los alumnos de 7º de Educación General Básica (de 13 años de edad), comenzando en su lugar por 2º de Bachillerato - BUP (de 16 años de edad).

El índice a medir en este caso ha sido, el porcentaje de alumnos que "tratan erróneamente" cada cuestión sobre

el total de alumnos en cada curso que contestan. Por tratar erróneamente la cuestión se debe entender aquellos alumnos que o bien no la corrigen en absoluto porque están de acuerdo, o bien la corrigen mal.

Finalmente expondremos el último diseño utilizado. Este ha consistido esencialmente en contactar con tres profesores de Física y Química y tres profesores de Biología y Geología de enseñanza media (Bachillerato) - no implicados en investigaciones didácticas - dispuestos a colaborar en la experiencia que describimos a continuación.

A dichos profesores se les informó a comienzos del curso (1988-89) de forma exhaustiva, acerca del grave problema de los errores conceptuales cometidos por los alumnos, adjuntándoles documentación escrita sobre cada una de las preconcepciones concretas implicadas en el cuestionario A y analizando las mismas con detalle, pero sin darles a conocer las cuestiones específicamente elaboradas para su detección.

Todos los profesores contactados daban clase en centros estatales de Bachillerato a cursos de 3º - BUP (alumnos de 17 años). Siguiendo una metodología basada fundamentalmente en la transmisión verbal de conocimientos ya elaborados.

Después de tratar con ellos, lo difícil que resultaba cambiar las preconcepciones de los alumnos mediante la enseñanza habitual, se acordó su participación en los siguientes términos:

Durante el curso académico se comprometían a dedicar una atención especial en sus clases hacia todas aquellas preconcepciones (abordadas en este estudio), que pudiesen tratar en el desarrollo del programa de su asignatura por estar relacionadas con los contenidos del mismo.

Sus alumnos pasaban así a ser "alumnos experimentales" sujetos a una enseñanza que se planteaba explícitamente cambiar determinadas preconcepciones. A final de curso nosotros pasaríamos a dichos alumnos un cuestionario (el A) con objeto de analizar en qué medida esta "enseñanza mejorada" habría conseguido mejores resultados que la habitual alumnos de

control).

Según nuestra hipótesis cabe esperar que sean precisamente las cuestiones del bloque de Mecánica las menos afectadas por esta atención especial del profesorado. Así mismo es de esperar también que en aquellas cuestiones que se refirieran a aspectos "no tratados" por no estar incluidos en el programa de 3º de Bachillerato utilizado por los profesores contactados, no se den diferencias significativas en cuanto al porcentaje de respuestas erróneas, respecto a los alumnos de los grupos de control.

IV. EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se exponen y analizan los resultados obtenidos con cada uno de los diseños experimentales descritos en el apartado anterior. Con objeto de facilitar las comparaciones destacaremos en negrita los resultados correspondientes a las cuestiones del bloque de Mecánica.

En la tabla I se presentan los porcentajes de respuestas erróneas obtenidos en cada una de las cuestiones y en cada uno de los cursos analizados: 7º de Educación General Básica (13 años), 2º de Bachillerato (16 años), 3º de Bachillerato (17 años), Curso de Orientación Universitaria (18 años), 2º de Química (20 años). Con objeto de facilitar su lectura hemos incluido algunas palabras claves que permiten, una vez leído el cuestionario A del anexo, saber rápidamente de qué tema se trata. Conviene destacar los siguientes resultados:

- 1) Los porcentajes de respuestas equivocadas son inicialmente muy altos en prácticamente todas las cuestiones, como puede comprobarse observando la columna correspondiente a EGB.

A todos los grupos de 7º de Educación General Básica (a diferencia de los restantes niveles) se les pasó el cuestionario a principios de curso 1988-89 para obtener así respuestas de alumnos "contaminados lo menos posible" por la en

señanza recibida hasta ese momento. Esto unido a que el porcentaje de respuestas en blanco o "no lo sé" ha sido nulo o prácticamente nulo en todas las cuestiones nos muestra cómo casi todas las concepciones alternativas implicadas en el cuestionario existen ya en la mente de estos alumnos previamente a la instrucción, como ideas dominantes.

- 2) Las cuestiones en donde se dan disminuciones menos acusadas en los porcentajes de respuestas erróneas, desde valores inicialmente altos, conforme se avanza en el nivel educativo son la 1,2,4,7,8,12 y 14, en donde están presentes todas las de Mecánica.
- 3) En casi todas las cuestiones restantes se producen disminuciones importantes en los porcentajes de respuestas erróneas desde valores inicialmente altos, siendo más notables en las cuestiones del bloque de Química (3,5,6,13,16) en las cuales las diferencias entre los primeros cursos y el último son muy acusadas.

TABLA I

CUESTIONARIO A - Porcentaje de respuestas erróneas sobre el total de respuestas.

Cuestión	E.G.B. N = 110	Segundo N = 72	Tercero N = 62	C.O.U. N = 62	2º Quím N = 82
1. Respiración de las plantas	74,5	91,5	88,5	83,9	71,3
2. Caída de graves	81,2	62,3	45,9	48,4	55,0
3. Fusión átomos	74,2	36,5	9,4	1,6	5,0
4. La luz se ve	79,8	75,0	57,7	71,2	57,3
5. Combustión	76,9	54,5	40,7	39,3	17,1
6. Naturaleza del aire	58,8	40,0	23,6	3,4	3,7
7. Bloque -muelle	81,7	90,0	96,7	93,4	87,8
8. Velocidad de las cargas	80,2	77,6	64,7	89,8	82,7
9. Ratón -herencia	44,5	47,9	30,0	32,1	46,3
10. Presión	75,9	54,4	41,4	41,7	43,9
11. Generación espontánea	68,3	52,3	47,5	31,0	38,2
12. Reposo y Fuerza	58,2	40,0	53,4	71,2	67,9
13. Metales	71,3	84,7	74,2	33,9	29,3
14. Piedra hacia arriba	86,8	79,7	81,0	82,5	84,1
15. Intensidad de corriente	78,5	78,9	59,3	62,5	32,1
16. Elemento, mezcla, compuesto	94,2	97,0	83,1	76,4	44,7
17. Volcanes	75,3	63,1	42,9	61,4	41,1

Es preciso tener en cuenta que en la cuestión n° 16 de Química, correspondiente a los conceptos de elemento, mezcla y compuesto, se consideraron respuestas erróneas todas aquellas en las que al menos se hubiese señalado como verdadera una de las tres proposiciones, lo cual puede explicar que a pesar de la notable disminución en el porcentaje de respuestas erróneas desde 79 de EGB hasta 29 Químicas en la tabla I, el porcentaje de error sea todavía elevado para 29 de Químicas (44,7% con $S_d = 5,5$).

En la tabla II se dan los porcentajes de respuestas erróneas seguras en cada cuestión y por cada nivel educativo.

Recordemos que hemos sido bastante restrictivos y se han seleccionado como seguras sólo aquellas calificadas con una nota igual o superior a 8.

Respecto a los resultados de esta tabla cabe destacar:

- 1) En general el porcentaje de respuestas erróneas seguras (indicativo, como hemos dicho, del grado de confianza que los alumnos tienen en la validez de sus ideas alternativas), va disminuyendo conforme se avanza de nivel educativo, excepto en las cuestiones 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12, 14 y 16, entre las que encontramos otra vez todas las del bloque de Mecánica.
- 2) En tres de las cuatro cuestiones que forman el bloque de Mecánica, ocurre un fenómeno particularmente notable: el grado de confianza en la validez de la respuesta errónea no sólo no disminuye, conforme el alumno progresa de nivel desde la básica a la universidad, sino que aumenta hasta valores muy altos en el último curso, y este aumento es especialmente significativo en las cuestiones 12 y 14.

La única cuestión que sin ser de Mecánica ocurre algo similar es la n° 1, de Biología (respiración de las plantas).

En las tablas III, IV y V se exponen los resultados correspondientes a la nota media de seguridad en las respuestas erróneas, porcentajes de respuestas erróneas, y porcentajes de respuestas erróneas seguras, respectivamente, calculados aquí para cada bloque de cuestiones y para cada curso.

TABLA II

CUESTIONARIO A - Porcentaje de respuestas erróneas seguras sobre el total de respuestas.

Cuestión	E.G.B. N = 110	Segundo N = 72	Tercero N = 62	C.O.U. N = 62	2º Quím N = 82
1. Respiración de las plantas	46,7	66,2	60,7	74,2	47,5
2. Caída de graves	47,0	26,1	28,3	32,3	32,1
3. Fusión átomos	32,6	7,9	3,8	1,6	3,8
4. La luz se ve	23,7	18,2	19,2	23,1	15,1
5. Combustión	40,6	19,7	17,2	26,2	8,8
6. Naturaleza del aire	15,5	4,6	7,4	1,7	0,0
7. Bloque -muelle	50,9	40,0	48,3	63,9	55,6
8. Velocidad de las cargas	32,4	21,1	8,0	36,7	39,7
9. Ratón -herencia	17,4	18,3	10,0	7,1	11,5
10. Presión	30,2	23,5	26,3	20,0	14,6
11. Generación espontánea	43,1	18,8	25,9	12,1	18,4
12. Reposo y Fuerza	23,3	12,1	42,1	55,9	56,3
13. Metales	33,0	41,8	37,9	22,4	16,3
14. Piedra hacia arriba	32,2	25,4	43,9	36,1	66,7
15. Intensidad de corriente	40,0	35,2	26,3	28,6	18,5
16. Elemento, mezcla, compuesto	35,1	35,5	36,8	46,3	30,1
17. Volcanes	41,7	29,2	14,5	26,3	19,2

TABLA III

CUESTIONARIO A - Nota media de seguridad en respuestas erróneas por bloques.

Bloque	E.G.B. N = 110	Segundo N = 72	Tercero N = 62	C.O.U. N = 62	2º Quím N = 82
MECANICA	7,2	6,8	7,9	8,4	8,4
Otras FISICA	6,7	6,7	6,5	6,9	7,0
QUIMICA	6,8	6,3	7,0	7,9	7,7
BIOLOGIA y GEOLOGIA	7,5	7,4	7,5	7,5	7,2

Para facilitar una visión rápida y de conjunto, se suministran los mismos resultados de forma gráfica.

En la tabla III (o bien en la gráfica 1) podemos observar cómo la nota media de seguridad en las respuestas erróneas de Mecánica crece desde EGB (7,2 con $Sd = 0,6$), hasta

29 de Químicas (8,4 con $Sd = 0,5$) donde toma el valor máximo.

TABLA IV

CUESTIONARIO A - Porcentaje de respuestas erróneas sobre el total de respuestas por bloques.

Bloque	E.G.B. N = 110	Segundo N = 72	Tercero N = 62	C.O.U. N = 62	29 Quím N = 82
MECANICA	77,0	68,0	69,3	73,9	73,3
Otras FISICA	78,6	78,6	55,8	66,3	54,0
QUIMICA	75,1	62,5	46,2	30,9	20,0
BIOLOGIA y GEOLOGIA	65,7	63,7	52,2	52,1	49,2

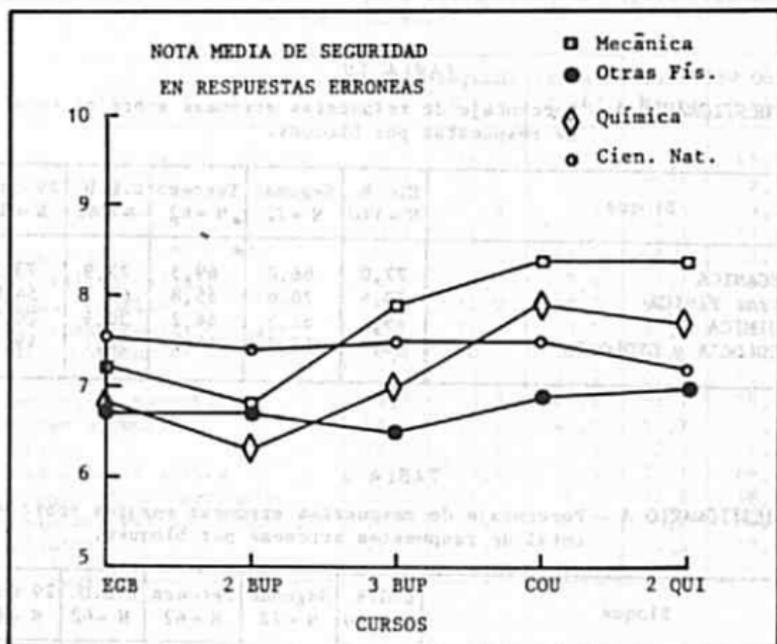
TABLA V

CUESTIONARIO A - Porcentaje de respuestas erróneas seguras sobre el total de respuestas erróneas por bloques.

Bloque	E.G.B. N = 110	Segundo N = 72	Tercero N = 62	C.O.U. N = 62	29 Quím N = 82
MECANICA	38,4	25,9	40,7	47,1	52,7
Otras FISICA	31,6	24,5	20,0	27,1	22,0
QUIMICA	31,4	21,9	20,6	19,6	11,8
BIOLOGIA y GEOLOGIA	37,2	33,1	27,8	29,9	24,2

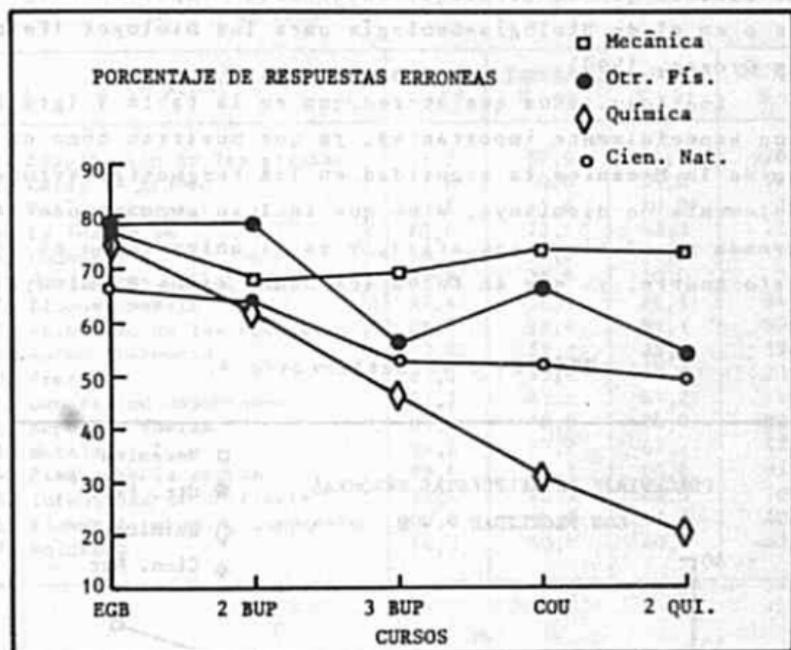
En cambio en - Otros aspectos de Física -, el aumento no es tan significativo, y en Biología y Geología no hay aumento. En el caso del bloque de Química el aumento es grande, aunque sigue siendo inferior al bloque de Mecánica, sin embargo en nuestra opinión no es un dato muy significativo, ya que en los alumnos de 29 de Químicas el porcentaje de respuestas erróneas en el bloque de Química es muy bajo (en algún caso inferior al 5%), lo cual hace que las pocas respuestas erróneas calificadas con nota alta de seguridad tengan un peso muy excesivo en comparación con los demás bloques.

GRAFICA 1 - Cuestionario A.



En cuanto a la tabla IV (o bien gráfica 2) podemos ver cómo en el bloque de Mecánica se mantiene el porcentaje de respuestas erróneas sin disminuciones bruscas a través de los distintos cursos, mientras que en el resto de los bloques se producen disminuciones significativas en cada uno, especialmente en el bloque de Química. Así el valor de la t de Student calculado para ver las diferencias del bloque de Mecánica entre 79 de - EGB- y 29 de Químicas es 0,59 y el correspondiente para $\alpha = 0,05$ es de 1,960. Para el bloque de Biología-Geología la t de Student obtenida entre 79 de - EGB- y 29 de Químicas es de 2,26 luego podemos afirmar que hay diferencias significativas con una probabilidad de equivocarnos inferior al 5%. Análogamente ha de suceder en el bloque "Otras Física" y en el de "Química" en donde las diferencias son todavía más acusadas.

GRAFICA 2 - Cuestionario A.

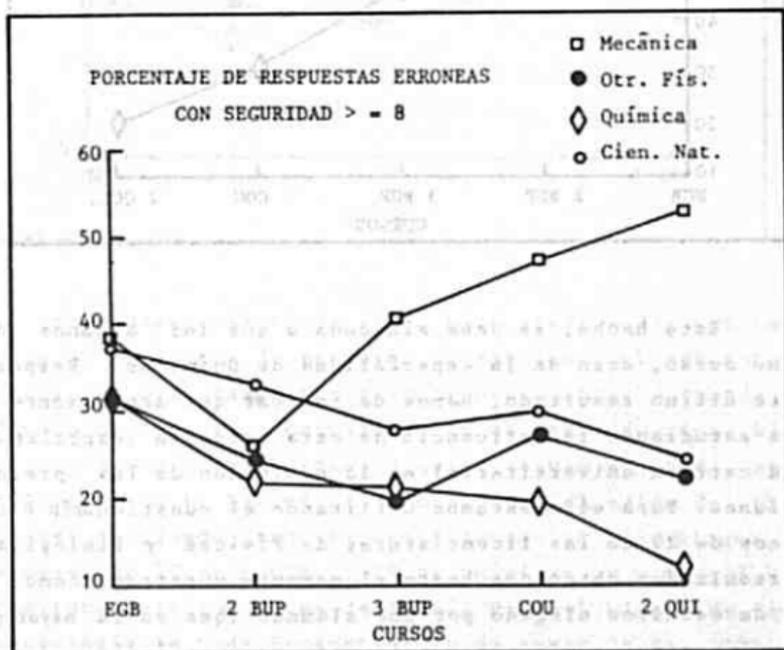


Este hecho, se debe sin duda a que los alumnos del último curso, eran de la especialidad de Químicas. Respecto a este último resultado, hemos de indicar que actualmente es tamos estudiando la influencia de esta variable (especialidad de la carrera universitaria) en la evolución de las preconcepciones. Para ello estamos utilizando el cuestionario A con alumnos de 29 de las licenciaturas de Físicas y Biológicas. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran cómo el tipo de estudios elegido por los alumnos (que en la mayor parte de los casos puede ser considerado como un índice de su interés y dedicación hacia una materia determinada) conlleva que se produzca una disminución más acusada en las preconcepciones correspondientes a la materia sobre la que versan fun damentalmente dichos estudios. Sin embargo lo verdaderamente relevante es que, cualquiera que sea el índice considerado,

este efecto es mucho menor en el bloque de Mecánica respecto a los físicos que en el bloque de Química respecto a los químicos o en el de Biología-Geología para los biólogos (Fernández y Orozco, 1990).

Los resultados que se recogen en la tabla V (gráfica 3) son especialmente importantes, ya que muestran cómo en el campo de la Mecánica la seguridad en las respuestas erróneas no solamente no disminuye, sino que incluso aumenta conforme se avanza en el nivel educativo, y es el único campo en donde esto ocurre, ya que en todos los demás casos disminuye.

GRAFICA 3 - Cuestionario A.



La tabla VI recoge los porcentajes de alumnos que corrigen mal o no corrigen las cuestiones correspondientes al cuestionario B, es decir que tratan erróneamente cada cuestión.

TABLA VI

CUESTIONARIO B - Porcentaje de alumnos que tratan erróneamente la cuestión.

Cuestión	Segundo N = 69	Tercero N = 56	C.O.U. N = 51	2º Quím. N = 34
1. Respiración de las plantas	91,3	80,0	94,1	78,8
2. Caída de graves	71,6	50,0	54,0	56,5
3. Fusión átomos	35,9	11,6	10,0	3,0
4. La luz se ve	83,6	73,5	83,3	71,9
5. Combustión	66,2	37,0	32,7	15,2
6. Naturaleza del aire	32,8	24,0	30,0	0,0
7. Bloque -muelle	92,4	96,4	96,1	94,1
8. Velocidad de las cargas	88,9	78,4	91,1	90,6
9. Ratón -herencia	57,4	42,3	25,5	39,4
10. Presión	67,2	43,4	60,8	23,5
11. Generación espontánea	61,2	43,4	61,2	14,7
12. Reposo y Fuerza	81,0	50,0	80,0	82,4
13. Metales	94,2	52,7	62,7	47,1
14. Piedra hacia arriba	89,4	88,2	60,0	85,3
15. Intensidad de corriente	84,1	75,9	49,0	70,6
16. Elemento, mezcla, compuesto	100,0	90,6	62,7	40,6
17. Volcanes	80,3	50,0	40,4	42,4

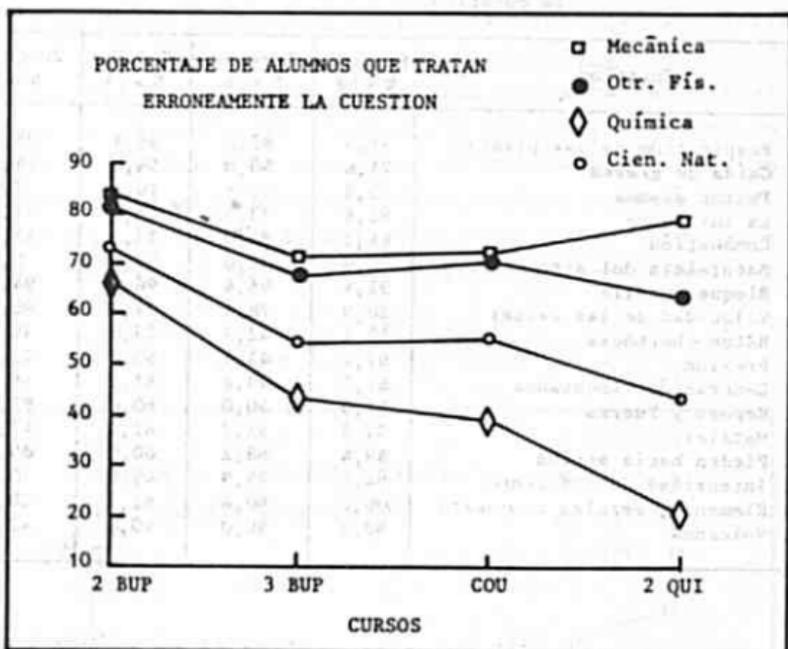
En la tabla VII (y en la gráfica 4) se expone el mismo índice, pero esta vez calculado respecto a cada uno de los bloques de cuestiones.

TABLA VII

CUESTIONARIO B - Porcentaje de alumnos que tratan erróneamente la cuestión por bloques.

Bloque	Segundo N = 69	Tercero N = 56	C.O.U. N = 51	2º Quím. N = 34
MECANICA	83,6	71,2	72,5	79,6
Otras FISICA	80,9	67,8	71,1	64,2
QUIMICAS	65,8	43,2	39,6	21,2
BIOLOGIA y GEOLOGIA	72,5	54,0	55,3	43,8

GRAFICA 4 - Cuestionario B.



Es fácil comprobar cómo los resultados son coherentes con los obtenidos con el cuestionario A, tanto en lo que se refiere a los porcentajes inicialmente altos como a la evolución por cuestiones y por bloques del índice considerado en donde una vez más se observa cómo la Mecánica se diferencia del resto.

Finalmente nos referiremos a los resultados obtenidos en el último diseño.

En la tabla VIII se han dispuesto los resultados obtenidos en el curso 3º de Bachillerato de control (tabla I) junto con la de 3º de Bachillerato experimental (entre paréntesis se indica la desviación standar).

Es preciso advertir previamente que no todos los conceptos implicados en las cuestiones fueron tratados por los profesores de los grupos experimentales bien por no formar

parte del programa, bien por falta de tiempo. En esta situación se encuentran las cuestiones 4,9,10,11 y 17.

Como puede comprobarse en el resto de las cuestiones, existen diferencias apreciables en los porcentajes de respuestas erróneas en la mayoría de ellas, como por ejemplo ocurre con la 1,5,6,13 y 15.

TABLA VIII

CUESTIONARIO A - Porcentaje de respuestas erróneas sobre el total de respuestas.

Cuestión	3º Exp. N = 117	3º Control N = 62
1. Respiración de las plantas	60,0 (4,5)	88,5 (4,1)
2. Caída de graves	61,4 (4,5)	45,9 (6,3)
3. Fusión átomos	4,7 (2,0)	9,4 (3,7)
4. La luz se ve	58,9 (4,5)	57,7 (6,3)
5. Combustión	28,3 (4,2)	40,7 (6,2)
6. Naturaleza del aire	14,0 (3,2)	23,6 (5,4)
7. Bloque - muelle	96,6 (1,6)	96,7 (2,3)
8. Velocidad de las cargas	60,8 (4,5)	64,7 (6,1)
9. Ratón - herencia	32,8 (4,3)	30,0 (5,8)
10. Presión	54,1 (4,6)	41,4 (6,3)
11. Generación espontánea	47,8 (4,6)	47,5 (6,3)
12. Reposo y Fuerza	51,4 (4,6)	53,4 (6,3)
13. Metales	31,9 (4,3)	74,2 (5,6)
14. Piedra hacia arriba	85,0 (3,3)	81,0 (5,0)
15. Intensidad de corriente	34,2 (4,4)	59,3 (6,2)
16. Elemento, mezcla, compuesto	74,3 (4,0)	83,1 (4,8)
17. Volcanes	44,6 (4,6)	42,9 (6,3)

Especialmente importante es el caso de la cuestión 1 de Biología que pasa de un 88,5% en los alumnos de control, a un 60,0% en los experimentales. La diferencia es significativa (el valor calculado de la *t* de Student es 4,67 mientras que para un $\alpha = 0,001$ el valor de la *t* de la tabla correspondiente es 3,29 por lo que la diferencia es significativa con una probabilidad de equivocarnos inferior al 1 por mil), aun que por supuesto el porcentaje de respuestas erróneas sigue siendo todavía excesivamente alto. A este respecto conviene

no olvidar que la idea de que las plantas verdes respiran de forma diferente de día que durante la noche está presente en la sociedad y se insiste en ella en multitud de ocasiones en la vida familiar desde la infancia, etc. Ello unido a confusiones respecto a la fotosíntesis como simple intercambio de gases, puede explicar estos altos resultados de respuestas erróneas.

No ocurre lo mismo con las cuestiones de Mecánica en las cuales a pesar del tratamiento no se produce ninguna disminución significativa al pasar del grupo de control al grupo experimental, confirmando así de nuevo nuestra hipótesis de partida. (El valor de la t de Student encontrado para el bloque de Mecánica es 0,602 y el correspondiente para $\alpha = 0,05$ es 1,960.)

V. ALGUNAS IMPLICACIONES DIDACTICAS

Los resultados obtenidos muestran desde distintos ángulos cómo a partir de una situación inicial con porcentajes muy altos de implantación de diversas preconcepciones científicas, el efecto de la escolarización es mínimo en lo que se refiere a las cuestiones de Mecánica y significativamente mayor en otros campos de las ciencias. Análogamente la seguridad con que se mantienen las preconcepciones erróneas en Mecánica no disminuye sino que más bien aumenta con el nivel educativo (al contrario que en otros campos). Así mismo no basta con que el profesor sea consciente de la existencia de las preconcepciones científicas entre sus alumnos e intente cambiarlos mediante una mayor atención hacia el problema (al menos en los más persistentes).

Estos resultados no sólo verifican la hipótesis fundamental de este trabajo sobre la uniformidad de las preconcepciones sino que permiten también hacernos las siguientes reflexiones:

- 1) Se confirma la existencia de un cierto isoformismo entre algunas preconcepciones científicas de los alumnos (asocia

ción fuerza/movimiento, caída de graves) y ciertas ideas vigentes en la Física pre-clásica.

Es este isomorfismo el que nos lleva precisamente a manifestar la necesidad de considerar muy seriamente la importancia de las estrategias de cambio metodológico/epistemológico como forma de lograr verdaderos y duraderos cambios conceptuales (Carrascosa, 1987; Calatayud et al., 1988).

2) Si en nuestras clases, mediante estrategias de cambio metodológico conseguimos superar de forma significativa las preconcepciones de los alumnos en Mecánica, que como hemos visto son de las más sólidas, cabe esperar que en los demás campos los cambios sean todavía más espectaculares, produciendo en general un aprendizaje mucho más significativo y duradero.

3) Como hemos visto, la solidez y coherencia en las preconcepciones de Mecánica, a pesar de su enseñanza, se va incrementando con los años. Ello sugiere la conveniencia de que en una primera fase como la correspondiente a niños entre 12 y 14 años no se incluya en el programa.

En efecto, para que se produzcan cambios conceptuales efectivos es preciso no sólo que primero se hayan formado los esquemas conceptuales correspondientes a la Física del sentido común, sino también que los nuevos esquemas que van a sustituirlos sean en principio susceptibles de ser confrontados y aceptados probando su validez frente a situaciones diversas, etc. De otra forma el cambio es sólo aparente y efímero (es fácil por ej. "convencer" a los niños pequeños).

Nosotros mismos hemos podido comprobar cómo, eran precisamente los alumnos más mayores los que realizaban una defensa más tenaz de sus ideas erróneas en Mecánica, y los que más se sorprendían e interesaban cuando se daban cuenta de que estaban equivocados.

4) La Mecánica se revela así potencialmente como un poderoso instrumento para conseguir que el alumno aprenda a dudar de lo obvio, de lo aparentemente incuestionable, y en ge-

neral para que aprenda a desarrollar una metodología de trabajo más coherente con las características esenciales de la metodología científica y por lo tanto más adecuados para enfrentarse a los nuevos problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bachelard, G., 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin (París).
- Calatayud, M.L. et al., 1988. *La construcción de las Ciencias Físico-Químicas*. Ed. Librería Nau LLibres, Valencia.
- Carrascosa, J. y Gil, D., 1985. La metodología de la supercialitat i l'aprenentatge de les ciències. *Ensenanza de las Ciencias*, 3(2): 113-120.
- Carrascosa, J., 1985. Errores conceptuales en la enseñanza de la Física y Química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3): 230-234.
- Carrascosa, J. y Gil, D., 1986. Diferencias en l'evolució dels preconceptes. Mecànica i Química. *Actes de les Segones Jornades de Recerca Educativa a l'Escola de Magisteri de Lleida*. pp. 230-238 ICE de la U.A. de Barcelona.
- Carrascosa, J., 1987. Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales. *Universidad de Valencia* (Tesis Doctoral).
- Clough, E. and Driver, R., 1986. Consistency in the use of student's conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4): 473-496.
- Driver, R., 1986. Restructuring the Physics Curriculum: some implications of studies on learning for curriculum development. *New Trends on Physics Education*. Japon, agosto - 1986. Sophia University, pp. 3-34.
- Driver, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2): 109-120.
- Fernandez, I. y Orozco, A., 1990. Diferencia en la evolución de las preconcepciones científicas. Tesis de Máster (sin publicar).

- Gil, D. y Carrascosa, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3): 231-236.
- Gil, D. y Carrascosa, J., 1990. What to do about science misconceptions. *Science Education*, 74(5): 531-540.
- Good, R., 1988. Analysis of student errors in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(2): 157-158.
- Hashweh, N.Z., 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3): 229-249.
- Hewson, P.W., 1981. A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4): 383-396.
- Hodson, D., 1988. Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1): 19-40.
- Jimenez, A.P., 1987. Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2): 165-167.
- McDermott, L., 1984. Critical review of research in the domain of mechanics. *Research on Physics Education*. Editions du C.N.R.S. (Paris).
- Moreira, M.A., 1987. Concept mapping as a possible strategy to detect and to deal with misconceptions in physics. In: Novak, J.D. (Ed.). *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY, Cornell University. Vol. II, pp. 352-360.
- Moreira, M.A. y Novak, J.D., 1988. Investigación en la enseñanza de las ciencias en la Universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1): 3-18.
- Novak, J.D., 1988. Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3): 213-223.
- Osborne, J.R. y Wittrock, M., 1983. Learning Science: a generative process. *Science Education*, 12: 59-87.
- Posner, G.J. et al., 1982. Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2): 211-277.

Viennot, L., 1976. *Le raisonnement spontané en Dynamique élémentaire*. Tesis Doctoral, Université Paris VII (publicada en 1979 por Herman: París).

Viennot, L., 1989. La didáctica en la enseñanza superior ¿para qué?. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1): 3-13.

Original recebido dos autores em 02/01/90

Versão revisada pelos autores recebida em 01/10/90

Aceito para publicação em 26/11/90

ANEXO

CUESTIONARIO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Instrucciones

Contestar el siguiente cuestionario de forma individual y anónima de la manera que se indique en cada caso. Cada vez que respondas una cuestión tienes que calificar con una nota de 0 a 10 la seguridad que tienes de haberla contestado bien (0 mínima seguridad, 10 máxima seguridad). ¡Muchas gracias por tu colaboración!

Marca con una cruz la proposición que te parezca más correcta en cada una de las cuestiones siguientes:

- 1) El estudio de la respiración en los seres vivos nos muestra que:
- (a) las plantas verdes y los animales, siempre respiran consumiendo oxígeno y desprendiendo anhídrido carbónico lo mismo de día que de noche.
 - (b) las plantas verdes sólo respiran por la noche.
 - (c) las plantas verdes durante el día respiran al revés que los animales ya que para ello toman anhídrido carbónico y desprenden oxígeno.
 - (d) no sé.

seguridad:

- 2) Se lanza una piedra verticalmente hacia arriba alcanzando una altura de 6 m sobre el suelo. Considerando nulo el rozamiento con el aire, ¿qué altura alcanzará otra piedra lanzada con la misma velocidad pero cuya masa es la mitad que la de la primera?

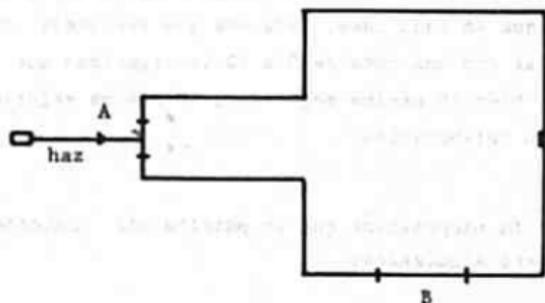
- (a) 3 m (b) 6 m (c) 12 m (d) no sé

seguridad:

- 3) Experimentalmente se observa que al calentar mucho el hierro, se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porque:
- (a) los átomos de hierro se alejan entre sí debilitándose los enlaces que los unen, rompiéndose muchos de ellos, etc.
 - (b) los átomos de hierro inicialmente duros, se hacen cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura.
 - (c) no sé.

seguridad:

- 4) Se ha construido una caja de paredes opacas la cual tiene sólo dos ventanas acristaladas A y B, haciéndose el vacío dentro de la misma. Si la ponemos entonces en un cuarto oscuro y se envía un fino haz de luz horizontal, como se muestra en el esquema, un observador que mira se por la ventana B, podría ver:



- (a) un rayo de luz horizontal y el punto P iluminado.
 (b) sólo un rayo de luz horizontal.
 (c) sólo el punto P iluminado.
 (d) no sé.

seguridad:

- 5) Dentro de una esfera cerrada y transparente hay un trozo de papel. Mediante una lupa hacemos que arda dicho papel hasta quemarse totalmente. Si pesamos todo el conjunto antes (1) y después (2) de la combustión, resultará que:



(1)



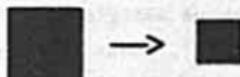
(2)

- (a) el peso de (2) será igual que el de (1).
 (b) el peso de (2) será menor que el de (1).
 (c) el peso de (2) será mayor que el de (1).
 (d) no sé.

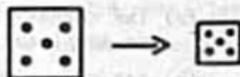
seguridad:

6) Una de las propiedades más conocidas del aire es su compresibilidad (que consiste en la reducción del volumen que ocupa al presionar sobre él, como puede comprobarse fácilmente con una jeringuilla). Esto se interpreta correctamente diciendo que:

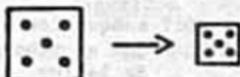
(a) el aire es como una esponja (todo continuo) que al apretar se comprime.



(b) entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar se hacen menores.



(c) al presionar, las propias partículas se comprimen, reduciéndose así su tamaño.



(d) no sé.

seguridad:

7) Un bloque de hierro ha sido lanzado hacia la derecha por una superficie lisa y plana contra un muelle elástico tal y como se representa en los dibujos, considerándose nulo el rozamiento.

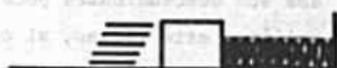
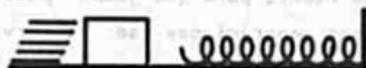


Figura 1

Figura 2

Al chocar, el bloque no se para en seco, sino que sigue moviéndose hacia la derecha durante un tiempo y mientras esto ocurra empujará al muelle:

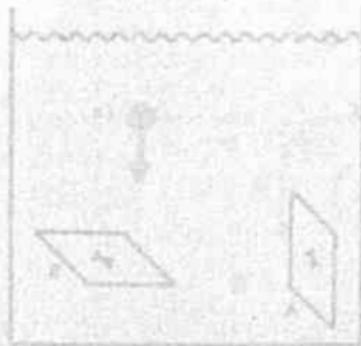
(a) cada vez con más fuerza.

(b) cada vez con menos fuerza.

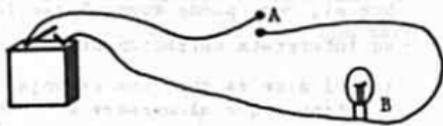
(c) siempre con la misma fuerza.

(d) no sé.

seguridad:



- 8) En el circuito de la figura adjunta se observa que en cuanto conectamos el interruptor A, se enciende la bombilla B.



Esto ocurre así de rápido porque:

- (a) las cargas eléctricas que constituyen la corriente (electrones) se desplazan por el cable a la velocidad de la luz.
- (b) las cargas eléctricas se mueven por el cable con enorme velocidad pero sin llegar a la velocidad de la luz.
- (c) aunque los electrones se desplazan muy despacio, la velocidad con que se propaga la energía eléctrica es prácticamente igual a la de la luz.
- (d) no sé.

seguridad:

- 9) Como sabes, los ratones se reproducen muy rápidamente. Si se realiza un experimento consistente en cortar la cola a unos ratones y a todos sus descendientes poco después de nacer, para que jamás pudieran utilizar este órgano, al cabo de muchas generaciones se observaría que a causa de este hecho:

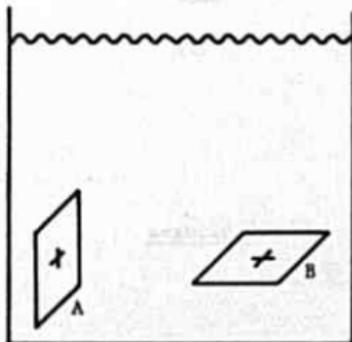
- (a) de pronto comenzarían a nacer ratones sin cola.
- (b) la cola de los ratones sería más corta que la de sus antepasados.
- (c) el tamaño de la cola no habría disminuido respecto a sus antepasados.
- (d) no sé.

seguridad:

- 10) Dos láminas planas se encuentran casi en el fondo de un estanque lleno de agua, según se indica en el esquema adjunto. Puede afirmarse entonces que la presión sobre el centro de la lámina B será:

- (a) menor que sobre el centro de la A.
- (b) igual que sobre el centro de la A.
- (c) mayor que sobre el centro de la A.
- (d) no sé.

seguridad:



Indica señalando con una cruz donde corresponda, tu opinión sobre cada una de las cuestiones siguientes:

11) Quizás habrás tenido ocasión de observar en la carne de algunos animales muertos o en frutas podridas numerosos y pequeños "gusanos". Esto se debe a que la materia de los seres vivos a diferencia de los minerales, tiene la propiedad (cuando se pudre) de originar diminutas larvas que crecen alimentándose de los jugos o líquidos que suelta.

- (a) cierto (b) falso (c) no sé

seguridad:

12) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese mismo instante, también será nula.

- (a) cierto (b) falso (c) no sé

seguridad:

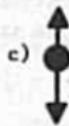
Contesta las cuestiones siguientes según las instrucciones que se dan en cada una:

13) De entre los siguientes elementos subraya únicamente aquellos que en tu opinión sean metales:

cloro, plata, cobre, mercurio, calcio, sodio, oro, potasio, hierro

seguridad:

14) Se lanza una piedra verticalmente desde el suelo hacia arriba. Considerando nulo el rozamiento con el aire, señala con una cruz cual de los siguientes esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre la piedra, poco antes de que llegue al punto más alto.



d) No sé
seguridad:

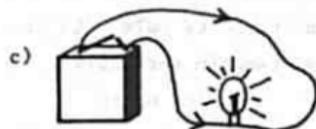
- 15) Señalar con una cruz cual de las situaciones siguientes describe correctamente lo que ocurre a la corriente eléctrica:



Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



La misma corriente que sale de la pila por un polo y pasa por la bombilla, le entra a la pila por el otro polo.



La corriente sale de ambos polos de la pila y se consume en la bombilla.

d) No sé

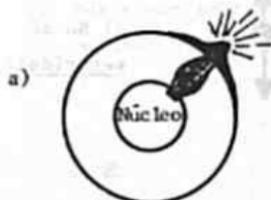
seguridad:

- 16) En Química se utilizan a menudo expresiones como elemento, mezcla y compuesto. Podemos afirmar por ejemplo que según el lenguaje químico (señalar V de verdadero o F de falso, a la izquierda de cada proposición):

- (a) el alcohol puro es un elemento.
 (b) el agua es una mezcla de hidrógeno y oxígeno.
 (c) el aire es un compuesto.

seguridad:

- 17) Como sabes los volcanes cuando entran en erupción arrojan al exterior gran cantidad de gases y de lava ardiente que provienen del interior de la Tierra. Señala cual de los dos esquemas siguientes representa en tu opinión más correctamente el interior de un volcán:



c) No sé
seguridad: