

UNIVERSIDAD DE VALENCIA

FACULTAD DE QUIMICAS



TRATAMIENTO DIDACTICO EN LA
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
DE LOS ERRORES CONCEPTUALES

TESIS DOCTORAL

JAIME CARRASCOSA ALIS

1987

U N I V E R S I D A D D E V A L E N C I A

F A C U L T A D D E Q U I M I C A S

*TRATAMIENTO DIDACTICO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
DE LOS ERRORES CONCEPTUALES*

AUTOR: Jaime Carrascosa Alis.

DIRECTOR: Dr. Daniel Gil Perez.

PONENTE: Dr. Francisco Tomás Vert.

D. Daniel Gil Perez. Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Valencia, y Catedrático numerario de Escuela Universitaria de Formación del Profesorado de la Universidad Autónoma de Barcelona,

CERTIFICA: Que la presente Memoria "Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales," ha sido realizada por D. Jaime Carrascosa Alís, bajo mi dirección, actuando de ponente el Dr Francisco Tomás Vert, Catedrático de Química Física de la Facultad de Químicas de la Universidad de Valencia y constituye la Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas.

Para que así conste y en cumplimiento de la legislación vigente, presento esta memoria de Tesis Doctoral, firmando el presente certificado en Valencia a 17 de febrero de 1987.

Daniel Gil Pérez

Quiero dar las gracias a todos los compañeros que han colaborado en la realización de esta memoria: A los profesores y alumnos que soportaron mis intromisiones en sus clases, a los que asistieron a los cursos de perfeccionamiento y de capacitación, a los profesores que participaron en la realización de experiencias, a los miembros del seminario de Física y Química del Servei de Formació Permanent del Professorat de la Uniersidad de Valencia, al Dr Fernando Senent Perez, por sus interesantes sugerencias y observaciones, y muy especialmente a Daniel Gil porque, con su dedicación y entusiasmo por la investigación educativa, no sólo ha hecho posible la realización de este trabajo, sino que ésta haya sido un placer.

PRESENTACION E INDICE GENERAL

Los errores conceptuales cometidos por los alumnos (principalmente en Física y Química), constituyen un grave problema, no sólo por su extensión (afecta a un gran número de alumnos de todos los niveles educativos y a parte del propio profesorado), sino también por hallarse asociados con frecuencia a conceptos importantes y ser muy difíciles de erradicar, incluso cuando son tenidos explícitamente en cuenta. Esto ha contribuido a que durante los últimos años se haya desarrollado una abundante investigación en el campo de los preconceptos científicos de los alumnos. Pese a ello, no se ha alcanzado todavía una explicación adecuada de la estabilidad de los mismos ni de los mecanismos de cambio conceptual (Hashewh, 1986). Se hace pues necesaria una mayor investigación para diseñar estrategias de enseñanza más adecuadas, con las cuales tratar el problema (Engel y Driver, 1986).

Por nuestra parte, ante esta situación, nos planteamos dos cuestiones fundamentales, a las que, hemos intentado dar respuesta mediante este trabajo:

- a) *¿Cuáles son las principales causas de la gran abundancia y persistencia de los errores conceptuales en Física y Química, cometidos por los alumnos y también por parte de los profesores?*
- b) *¿Cómo conseguir influir de manera efectiva en la superación del problema de los errores conceptuales en Física y Química?*

La respuesta a la primera de las cuestiones planteadas, constituye básicamente el objeto de la primera parte del trabajo que presentamos, orientado por una primera hipótesis, según la cual:

1ª) *La gran abundancia y persistencia de graves errores conceptuales de Física y Química en todos los niveles educativos e incluso entre parte del propio profesorado, se debe fundamentalmente a que la didáctica habitual no tiene en cuenta los esquemas conceptuales previos ni tampoco la metodología connatural de trabajo de los alumnos.*

En cuanto a la segunda cuestión, su respuesta se encuentra asociada a una segunda hipótesis, cuya contrastación se aborda dentro de la segunda parte de este trabajo, y que consiste en afirmar lo siguiente:

2ª *Ni la enseñanza reiterada, ni la atención explícita a las ideas previas de los alumnos, es suficiente para producir mejoras importantes en la adquisición significativa de los conocimientos científicos. Tales mejoras pueden lograrse, sin embargo, con una orientación didáctica que plantee el aprendizaje como construcción de conocimientos, siguiendo pautas similares a las del trabajo científico. Dicho de otro modo, la adquisición significativa de conocimientos, el cambio conceptual, ha de plantearse solidariamente con un cambio metodológico que conduzca a la superación de lo que podemos denominar metodología del sentido común (Hashew, 1986) y a la familiarización de los alumnos con la metodología científica.*

El desarrollo del trabajo se ajusta a estas dos hipótesis, quedando dividido así en dos partes fundamentales:

En la primera de ellas, tras una exposición detallada de las investigaciones precedentes acerca del problema de los errores conceptuales, se procede a situar la investigación, fundamentando teóricamente ambas hipótesis y explicitando cual es nuestro propio posicionamiento de partida. A continuación hemos operativizado la primera hipótesis en toda una serie de consecuencias susceptibles de ser contrastadas experimentalmente, dando una visión general del diseño concebido para dicha contrastación. En el capítulo siguiente, se describe detalladamente cada uno de los diseños particulares, que incluyen, la

elaboración de distintos cuestionarios ad hoc, análisis de libros de texto y exámenes, procedimientos para medir distintas características del comportamiento metodológico de alumnos y de profesores, determinación de la seguridad con que los alumnos dan sus respuestas, etc. Una vez detallados cada uno de los diseños, se exponen y se analizan los resultados obtenidos con cada uno de ellos y finalmente se realiza una breve recapitulación del trabajo realizado, destacando algunas de las conclusiones más importantes que se han obtenido.

La segunda parte del trabajo, comienza con una profundización en la fundamentación de la segunda hipótesis incluyendo una revisión crítica acerca de las características esenciales de la metodología científica y de sus implicaciones en la didáctica de las ciencias. Seguidamente, después de la operativización de la hipótesis, hemos procedido también, siguiendo el mismo esquema que con la primera, a detallar los diseños elaborados y exponer y analizar los resultados obtenidos con cada uno de ellos. Para terminar, se presentan las conclusiones generales, incluyendo algunas de las nuevas perspectivas abiertas.

Todo lo que acabamos de exponer, se completa con una serie de Anexos que se incluyen al final para no producir meandros innecesarios en lo que es el núcleo de la tesis. El Anexo I está constituido por dos revisiones bibliográficas iniciales sobre el problema de los errores conceptuales. En la primera de ellas el criterio seguido ha consistido en clasificar los trabajos publicados sobre el tema a los que tuvimos acceso, según las propuestas de tratamiento sugeridas en los mismos. En la segunda se estructuraron según área o dominio científico con que estaban relacionados. El Anexo II recoge una amplia colección de cuestiones diseñadas para la detección y tratamiento de posibles errores conceptuales, sobre distintos aspectos de Física y Química. Finalmente, en el Anexo III, se da la relación detallada de los libros de texto de EGB, BUP y COU analizados. De acuerdo con todo lo anterior, el índice general de esta memoria es el siguiente:

INDICE GENERAL

1ª PARTE: LOS ERRORES CONCEPTUALES Y SUS CAUSAS

1. PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROBLEMA (pág 9)
2. HIPOTESIS GENERALES DE TRABAJO: FUNDAMENTACION Y ENUNCIADO (pág 15)
3. OPERATIVIZACION DE LA PRIMERA HIPOTESIS Y DISEÑO EXPERIMENTAL PARA SU CONTRASTACION
 - 3-1 Operativización de la primera hipótesis y visión general del diseño. (pág 27)
 - 3-2 Diseño para contrastar que los errores conceptuales cometidos por los alumnos no pueden ser atribuidos a respuestas dadas al azar ni a simples olvidos o fallos de información. (pág 37)
 - 3-3 Diseño para contrastar que en la enseñanza habitual de la Física y Química, no se tiene en cuenta en general, que los alumnos poseen ideas intuitivas -preconceptos- sobre las materias estudiadas. (pág 62)
 - 3-4 Diseño para contrastar que los errores conceptuales se hallan íntimamente asociados con la "metodología de la superficialidad" o del "sentido común". (pág 68)
 - 3-5 Diseño para contrastar que la enseñanza habitual de la Física y Química favorece la utilización de la metodología de la superficialidad, siendo incapaz de producir progresos aceptables en la resolución del problema de los errores conceptuales. (pág 81)

4. PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACION EXPERIMENTAL DE LA PRIMERA HIPOTESIS

- 4-1 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que los preconceptos existen realmente, sin que sea posible atribuir los errores conceptuales a respuestas dadas al azar, simples olvidos, etc. (pág 91)
- 4-2 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que en la enseñanza habitual de la Física y Química, no se tiene en cuenta, en general, la existencia de los preconceptos. (pág 125)
- 4-3 / Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que los errores conceptuales cometidos por los alumnos, se hallan íntimamente asociados con la metodología de la superficialidad. (pág 134)
- 4-4 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que la enseñanza habitual de la Física y Química favorece la utilización de la metodología de la superficialidad. (pág 148)
- 4-5 Recapitulación y primeras conclusiones. (pág 155)

2ª PARTE: UNA PROPUESTA PARA LA SUPERACION DE LOS ERRORES CONCEPTUALES.

5. EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLOGICO

- 5-1 Implicaciones de las características esenciales de la metodología científica en una enseñanza de las ciencias coherente con la misma. (pág 164)
 - 5-1-1 Importancia de los paradigmas teóricos vigentes. Los esquemas conceptuales del alumno. (pág 165)

5-1-2 Relativización del papel del experimento. Importancia del pensamiento divergente. (pág 170)

5-1-3 Caracter social y colectivo de la investigación científica. El trabajo colectivo y orientado de los alumnos. (pág 172)

5-2 Implicaciones curriculares del modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico. (pág 176)

6. OPERATIVIZACION Y DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA CONTRASTACION DE LA SEGUNDA HIPOTESIS

6-1 Operativización de la segunda hipótesis y visión general del diseño. (pág 184)

6-2 Diseño para contrasar cómo el trabajo de los grupos de alumnos orientado por "programas de actividades" conduce efectivamente, a la construcción de concimientos, que la enseñanza tradicional transmite ya elaborados. (pág 188)

6-3 Diseño para contrastar cómo en los alumnos de los grupos experimentales, se produce una disminución notable y significativa en el porcentaje de errores conceptuales, respecto a los alumnos de los grupos de control. (pág 189)

6-4 Diseño para contrastar el cambio metodológico conseguido en los grupos experimentales. (pág 196)

6-5 Diseño para contrastar cómo el propio comportamiento metodológico de los profesores implicados en el desarrollo del modelo de aprendizaje propuesto, se aleja significativamente de actitudes relacionadas con la metodología de la superficialidad. (pág 199)

6-6 Diseño para contrastar la valoración positiva que el profesorado hace del modelo didáctico propuesto. (pág 200)

7. PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACION DE LA SEGUNDA HIPOTESIS

7-1 Resultados obtenidos en la contrastación de que efectivamente, es posible que mediante las actividades propuestas en forma de programas guía, los alumnos construyan conocimientos. (pág 203)

7-2 Resultados obtenidos en la contrastación de que en los grupos experimentales se produce una disminución significativa en el porcentaje de errores conceptuales respecto a los grupos de control. (pág 237)

7-3 Resultados obtenidos en la medida del cambio metodológico producido en los grupos experimentales. (pág 254)

7-4 Resultados obtenidos en la contrastación de que el comportamiento metodológico de los profesores de los grupos experimentales, se aleja significativamente de actitudes relacionadas con la metodología de la superficialidad. (pág 258)

7-5 Resultados obtenidos en la valoración del modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico. (pág 261)

8. CONCLUSIONES FINALES (pág 267)

9. ANEXOS

1 Anexo I: Selecciones bibliográficas sobre errores conceptuales. (pág 274)

2 Anexo II: Colección de cuestiones diseñadas para la detección y tratamiento de posibles errores conceptuales. (pág 287)

3 Anexo III: Relación de los libros de texto consultados. (pág 359)

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS (pág 365)

PRIMERA PARTE

LOS ERRORES CONCEPTUALES Y SUS CAUSAS

1-PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROBLEMA

El problema del papel negativo que a veces juegan los llamados "conocimientos espontaneos de los alumnos" en un aprendizaje significativo de las ciencias, es conocido ya desde hace bastante tiempo (Bachelard, 1938) y los profesores de Física y Química pueden apreciar sus efectos cuando constatan que algunos conceptos importantes son profundamente malinterpretados por sus alumnos. Este hecho hace que en muchas de las situaciones en que tienen que manejarlos (resolución de problemas, cuestiones, etc) cometan cierto tipo de equivocaciones que no pueden atribuirse a simples fallos de información o a respuestas dadas al azar. En efecto, estas equivocaciones o errores conceptuales, parecen ser coherentes con la imagen o interpretación que el alumno tiene respecto a los conceptos involucrados en la actividad que se le plantea. Esta interpretación suele tener un origen anterior a la propia instrucción escolar, y aún siendo contradictoria con lo que pretendemos enseñarle al alumno, puede también persistir a través de los distintos niveles educativos, como prueba el hecho de que una gran parte de alumnos universitarios, sigan cometiendo algunos de dichos errores.

No obstante, a pesar de la evidencia existente sobre los errores conceptuales cometidos por los alumnos, el problema no adquirió carácter de línea de investigación prioritaria hasta recientemente, con la publicación de algunos trabajos como la tesis doctoral de Viennot (1976) sobre las ideas espontaneas de los alumnos en dinámica. A partir de este momento puede detectarse un interés creciente sobre el tema, que llega incluso a ser objeto de las editoriales de revistas especializadas como *Physics Education* (Elton, 1980). Desde entonces los trabajos publicados en el campo de los errores conceptuales son muy numerosos, llegando a convertirse sin duda, en una de las principales líneas de investigación en la didáctica de las ciencias. Puede consultarse en este sentido el Anexo I de esta tesis (pág 274), donde se recogen dos recientes selecciones bibliográficas sobre el tema (Carrascosa, 1983, 1985). En la primera de ellas el criterio para

ordenar los trabajos publicados, fue el de las posibles causas de los errores conceptuales y propuestas de tratamiento. En la segunda se trata de mostrar cuales son los dominios de la Física y Química en los que más se ha investigado el problema, ya que ello puede ser un buen índice de dónde son más abundantes los errores conceptuales.

Lógicamente, una tarea de indudable importancia es detectar dónde surgen los errores conceptuales con objeto de proceder a un estudio sistemático de los mismos. Respecto a este punto, puede encontrarse en la bibliografía distintas estrategias. Una de ellas consiste en proponer a los alumnos preguntas directas, del tipo, por ejemplo: ¿Qué es para tí el calor, la luz etc?. El análisis de las respuestas permitiría mostrar la existencia de posibles preconceptos, en ocasiones, repetitivos, contradictorios con los conocimientos científicos que tratamos de enseñar. Otra forma más elaborada, que puede utilizarse para explorar las ideas previas de los alumnos y profundizar en su estudio, consiste en el diseño de actividades concebidas específicamente con este propósito. Un tipo de actividades muy utilizado para este fin, son las cuestiones de tipo "papel y lápiz", aunque también pueden utilizarse problemas y actividades prácticas debidamente diseñados. En esencia consiste en elaborar, por ejemplo, cuestiones que sean sencillas y de carácter cualitativo pero cuya resolución satisfactoria suponga ciertas garantías de que el alumno ha asimilado correctamente la idea o concepto que queremos estudiar; de manera que si por el contrario, está afectado por posibles ideas preconcebidas erróneas, cometa lo que se denomina errores conceptuales. Puede suceder incluso, que a partir del análisis de distintos tipos posibles de respuestas que de hecho se dan, podamos conocer más detalles sobre las ideas o concepciones que las inspiran. Hemos de resaltar que en muchas ocasiones, la existencia de preconceptos erróneos, queda enmascarada precisamente porque no se hace uso de este tipo de cuestiones y en cambio se utilizan casi exclusivamente cuestiones "poco conflictivas", meras aplicaciones de fórmulas, ausencia de razonamientos, análisis etc.

Las cuestiones para detectar posibles ideas o preconceptos erróneos, permiten también comprobar si estos han sido o no superados (por ejemplo tras la aplicación de una determinada metodología didáctica), cuantificar fácilmente su incidencia, posibilitar un seguimiento de cómo van evolucionando en cursos académicos sucesivos etc. En el Anexo II, (pág 287) hemos recopilado la mayor parte de las cuestiones de este tipo que nos han parecido de algún interés. En cada una de ellas especificamos la referencia (señalando si han sido elaboradas por nosotros o por otros autores), el dominio concreto al cual se refiere, (cinemática, dinámica, estructura atómica etc), objetivos y comentarios sobre la misma (qué se pretende medir, respuestas esperadas etc), y finalmente los resultados obtenidos cuando la cuestión ha sido ensayada. De hecho, como puede comprobarse, algunas de las cuestiones son reiterativas sobre un mismo concepto. Esto es algo necesario, ya que como hemos podido constatar basta en muchos casos, proponer una cuestión ligeramente distinta a otras ya manejadas y conocidas por los alumnos, para que estos vuelvan a incurrir otra vez en el mismo error, evidenciando así la gravedad del problema.

Por otra parte, es preciso insistir también, en que los mismos errores conceptuales han sido observados entre estudiantes de diferentes edades y países, mostrando así que no se deben a respuestas dadas más o menos al azar, sino que reflejan más bien ideas estables en cuyo origen juegan un papel muy importante experiencias cotidianas comunes a alumnos de distintos lugares u origen sociocultural. Además afectan a un número muy grande de alumnos y también a parte del profesorado de E.G.B. y de enseñanza media, quienes como es obvio, difícilmente podrán ayudar a sus alumnos "hasta que ellos no hayan sido ayudados" (Arons, 1980). Algo también bastante preocupante es que los alumnos no solo dan contestaciones equivocadas influidos por sus preconceptos, sino que al parecer lo hacen convencidos de la validez de sus respuestas. (Astolfi, 1978); (Carrascosa y Gil, 1985)

Evidentemente, tanto el elevado número de alumnos que cometen importantes errores conceptuales en cualquier nivel educativo, como el

aparente convencimiento con que se ratifican en los mismos, son factores que por sí solos muestran la ineficacia de la enseñanza habitual de la Física y Química, y justifican la necesidad de investigar en profundidad acerca de dichos errores y sus causas. Esta necesidad, es sugerida ya por Ausubel (1978), cuando afirma: "De todos los factores que más influyen en el aprendizaje, el más importante es lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto y enseñese en consecuencia". También Helm (1980), insiste en lo mismo cuando señala que para estar en condiciones de eliminar los errores conceptuales, es preciso comenzar por hacer investigaciones detalladas que nos lleven a confirmar, reformar o cambiar nuestras hipótesis sobre los mismos y a la luz de dicho análisis, averiguar cuáles son las mejores estrategias educacionales que permitan lograr un aprendizaje verdaderamente efectivo.

Así pues no se trata únicamente de elaborar una "colección" de errores conceptuales lo más completa posible (aunque no cabe duda que ello es necesario y de gran interés), sino que hay que ir más allá y analizar cuáles son sus causas, a qué factores se debe fundamentalmente su persistencia y extensión, diseñar estrategias de enseñanza que permitan incidir significativamente sobre los mismos, etc.

A lo largo de la última década (ver Anexo I) (pág 274) se ha producido una evolución que ha hecho que de la simple exposición de errores conceptuales se avance hacia el estudio de los preconceptos y de estos hacia el de los llamados "esquemás conceptuales alternativos" de los alumnos (Driver, 1986 a). Según esto último, las ideas preconcebidas de los alumnos no han de ser consideradas como unas cuantas confusiones desconexas más o menos graves, sino que se hallan organizadas formando verdaderas estructuras o esquemás conceptuales, responsables incluso de determinadas formas de pensar e interpretar los fenómenos de la realidad circundante, suministrando al alumno explicaciones aparentemente satisfactorias. Las consideraciones anteriores, junto con la ineficacia de la enseñanza habitual de la Física y Química para incidir de forma significativa en el problema de

los errores conceptuales, han conducido a algunos autores a proponer recientemente modelos de enseñanza basados en estrategias de "cambio conceptual" (Posner et al, 1982), (Hewson y Hewson, 1983). Dichos modelos encajan perfectamente dentro de lo que se denomina "Teoría constructivista del aprendizaje" (Osborne y Wittrock, 1985), (Driver, 1986 a), uno de cuyos supuestos básicos es que el progreso en el aprendizaje depende también de lo que el estudiante ya sabe, de sus ideas previas. Así, todas las personas tienden a generar percepciones y significados que sean consistentes con su propio aprendizaje anterior. De esta forma, los conocimientos previos a cualquier aprendizaje, se consideran no como algo estático, sino como algo que de hecho se modifica y reorganiza mientras está siendo utilizado para comprender, para "construir significados". Este proceso se realiza mediante la creación de lazos o conexiones entre diferentes aspectos de las ideas presentes en la memoria y otros aspectos de los estímulos exteriores. De modo que cualquier concepción elaborada sólo será útil y aceptada definitivamente, cuando tenga sentido dentro de las ideas existentes.

El problema reside en que en ocasiones los nuevos conceptos contradicen a sus correspondientes "preconceptos" sin que sea posible la integración. En estas condiciones las ideas previas de los alumnos, pueden quedar subyacentes para surgir más tarde a la menor ocasión (Piaget, 1979). Esta situación ha llevado, como ya hemos indicado, a proponer nuevos modelos de enseñanza basados en estrategias de cambio conceptual, que han ido desarrollándose durante la última década.

Puede afirmarse pues, que la gran importancia que tiene el tema de los errores conceptuales no radica únicamente en ellos mismos, sino también en que su estudio ha supuesto un replanteamiento de los modelos usuales de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Este proceso afecta, como mostraremos más adelante, tanto a la forma de introducir los conceptos, como a los trabajos prácticos, la resolución de problemas, el diseño y extensión del currículum etc, aspectos todos ellos claves en el aprendizaje de las ciencias. En este sentido,

podemos decir que esta tesis se enmarca dentro de un proyecto general consistente en la elaboración de un modelo teórico para la enseñanza de las ciencias. De una forma más concreta, nuestra investigación se centra, tal y como adelantábamos en la presentación, en torno a dos cuestiones fundamentales:

- 1º) *¿Cuales son las principales causas de la gran abundancia y persistencia de los errores conceptuales en Física y Química, cometidos por los alumnos y también por parte del propio profesorado?*

- 2º) *¿Cómo conseguir influir de manera efectiva en la superación de los errores conceptuales en Física y Química?*

Terminamos aquí este planteamiento inicial del problema con el que hemos pretendido unicamente situar la investigación y dar una idea de su relevancia. Este planteamiento precisa aún, obviamente, de una mayor concreción. La formulación de las hipótesis , que exponemos y fundamentamos en el capítulo siguiente -y sobre todo su operativización en el capítulo tercero- permitirán focalizar y concretar de forma explícita los problemas objeto de investigación.

2-HIPOTESIS GENERALES DE TRABAJO: FUNDAMENTACION Y ENUNCIADO

Las investigaciones realizadas en torno a los errores conceptuales y esquemas conceptuales alternativos de los alumnos han tenido a menudo un carácter empírico, carente de fundamentación teórica, y aunque para algunos autores ello aparece como inevitable en los inicios de cualquier línea de investigación (Tiberghien, 1983), nuestra intención es situar teóricamente desde el primer momento, el estudio realizado, única forma de contribuir -por modestamente que ello sea- a la necesaria elaboración de un cuerpo coherente de conocimientos. Por otra parte, tras más de una década en que la investigación en este campo ha tomado un carácter prioritario -hasta poner en cuestión como hemos indicado en el capítulo anterior los modelos habituales de enseñanza/aprendizaje- las elaboraciones teóricas han adquirido un peso indudable y una cierta coherencia, como muestra la reciente literatura, incluidas nuestras propias aportaciones a lo largo de la elaboración de esta tesis, (Posner et al, 1982), (Osborne y Wittrock 1985), (Driver 1986 a), (Engel y Driver, 1986), (Driver 1986, b), (Hashew, 1986), (Carrascosa, Gíl y Gonzalez, 1982), (Carrascosa y Gíl, 1985), (Gíl y Carrascosa, 1985).

Comenzaremos pues, por exponer los distintos enfoques teóricos con que se aborda e interpreta el problema de los esquemas conceptuales de los alumnos así como nuestro propio posicionamiento inicial que juega obviamente, el papel de hipótesis general de la de la que derivaremos, debidamente fundamentadas, hipótesis más concretas y operativas.

Como señalan Hewson y Hewson (1984) la estrategia dominante en la enseñanza de las ciencias hoy en día, consiste en buscar la integración de nuevas concepciones con aquellas ya existentes en la mente del alumno, admitiendo que los conocimientos que éste tiene, son precisamente aquellos que los profesores le han enseñado. Pero como ya se ha puesto de manifiesto, esta estrategia produce resultados claramente insatisfactorios, y los alumnos no logran una correcta comprensión y aplicación de muchos conceptos científicos que les han

sido repetidamente enseñados. Por el contrario, el modelo de enseñanza de las ciencias como cambio conceptual (Posner et al, 1982), se basa en la idea de que muchas de las dificultades en el aprendizaje significativo de las ciencias, tienen su origen en un conocimiento que los alumnos han adquirido previamente a cualquier instrucción científica, y en la ignorancia que de este conocimiento y sus efectos tienen la mayor parte de los profesores. Algunos resultados experimentales (Hewson y Hewson, 1984), parecen sugerir que una estrategia de enseñanza basada en el modelo de cambio conceptual produce una mejor adquisición de las concepciones científicas que la estrategia basada en el modelo tradicional o de integración que hemos comentado en primer lugar. No obstante, recientemente se han expresado por parte de algunos autores, ciertas reservas acerca del modelo de cambio conceptual. A continuación vamos a comentarlas y a intentar mostrar la inconsistencia de las mismas así como la necesidad de convertir el modelo de enseñanza de las ciencias como cambio conceptual, en un modelo de enseñanza como cambio conceptual y metodológico. Ello constituye nuestro propio posicionamiento teórico de partida (Gíl y Carrascosa, 1985), del que se derivará la fundamentación de nuestra hipótesis general, a la que responde la investigación realizada.

En primer lugar nos referiremos a la postura de quienes niegan relevancia al problema de los errores conceptuales (Mc Clelland 1984) expresando dudas sobre la misma existencia de los "Esquemas conceptuales alternativos" de los alumnos, aduciendo las siguientes razones:

- a) Suponer que los niños tienen verdaderos "esquemas conceptuales", significa considerarles como si fueran científicos, y este evidentemente no es el caso, ya que la distinción entre el pensamiento de los niños y de los científicos es categórica y no una cuestión de grado.
- b) Los fenómenos naturales no son lo suficientemente relevantes para la inmensa mayoría de los seres humanos como para que puedan ser

objeto de la concentración y esfuerzos necesarios para construir esquemas conceptuales o modelos teóricos explicativos.

- c) Más que tener preconceptos que necesitan ser superados, los alumnos lo que tienen son ideas nebulosas y dispersas que necesitan ser cambiadas y ordenadas coherentemente.
- d) Las respuestas de los alumnos acerca de cuestiones sobre fenómenos físicos cotidianos no son indicativas de la existencia de preconceptos, sino mas bien de un cierto "imperativo social" que les obliga a contestar algo -aunque la cuestión en sí no les interese realmente- con el fin no tener problemas con su profesor.
- e) Suponer que el desarrollo histórico de las ideas científicas es reproducido en el individuo, es un error, ya que ello implica subestimar demasiado el valor y la coherencia de las ideas establecidas en cualquier sociedad humana, pasando por alto diferencias categóricas tanto en propósito como en contexto, entre dichas ideas y las que los alumnos pueden elaborar.

A la vista de las consideraciones anteriores, hechas por Mc Clelland (1984), tenemos que indicar en primer lugar que, imputar los errores conceptuales a que los alumnos contestan algo simplemente por "salir del paso" (lo que él denomina "estrategic inattention"), y no a la existencia de preconceptos reales, supondría entre otras cosas, que dichos errores fueran cometidos sólomente por los estudiantes más jóvenes y no, como de hecho ocurre, por estudiantes universitarios o incluso por profesores en formación y en activo (Carrascosa, 1982; Furió y Gíl, 1983; Carrascosa y Gíl, 1985). Por otra parte, la elevada reproductibilidad de los resultados obtenidos al utilizar distintos cuestionarios sobre errores conceptuales, así como la aparente seguridad con que los alumnos se ratifican en la validez de sus respuestas, son otros factores que como veremos, confirman el hecho de que estas respuestas reflejan más bien creencias estables, que respuestas dadas al azar para ver si se acierta. (Abou y Hestenes 1985), (Carrascosa y Gíl, 1986).

Respecto a que la diferencia entre el pensamiento de los niños y el pensamiento científico es categórica y no de grado, es algo fuera de duda. Sin embargo la misma afirmación puede hacerse respecto ciertas concepciones elaboradas por importantes pensadores de la antigua Grecia, que también son esencialmente distintas de las ideas científicas actuales. De hecho, existe un notable paralelismo entre los preconceptos científicos del niño y algunas ideas que se dieron a lo largo de la historia de la Ciencia. Esto es particularmente cierto en lo que se refiere a la mecánica, en donde los "conocimientos espontáneos" recuerdan poderosamente a algunas ideas presentes en la física preclásica (Piaget, 1970). Podríamos entonces decir que la distinción entre el pensamiento de los niños y el pensamiento pre-científico de los adultos sí que es ciertamente de grado y no categórica.

Finalmente hemos de puntualizar que, en efecto, los fenómenos físicos no son lo suficientemente relevantes para hacer que los niños teoricen sobre los mismos, pero no hay que olvidar que muchos de estos fenómenos se repiten cotidianamente a lo largo de muchos años, y que dicha reiteración impone una cierta visión del comportamiento de la materia. Esto ocurre particularmente en mecánica donde las experiencias no sólo son muy abundantes en multitud de situaciones sino que además, debido a su naturaleza, son las que el alumno "siente" en su propio cuerpo con mayor intensidad; por ello no es de extrañar que en un mundo donde por ejemplo el rozamiento está presente en prácticamente todos los sucesos cotidianos, el alumno desarrolle la idea de fuerza como causa del movimiento y que dicha idea funcione aparentemente bien en la interpretación de los fenómenos ordinarios.

De otro lado, mientras que Mc Clelland duda, como hemos visto, de la existencia misma de los preconceptos, Preece (1984), se pregunta por qué estos están tan profundamente enraizados, y avanza la hipótesis de que ya existirían en el cerebro a modo de aprioris Kantianos, y la experiencia lo único que haría sería ponerlos de manifiesto. En el

mismo sentido se manifiestan Chomsky y Fodor (Preece, 1984) cuando afirman:

"La hipótesis Kantiana de que muchas de las bases por las cuales nosotros estructuramos el mundo son innatas, más que construidas, proporciona una explicación simple de mucho de lo que sabemos acerca de la ciencia de los niños. En particular, sobre la persistencia de ideas intuitivas (frente a la enseñanza que las contradice) y su amplia difusión, que serían así una consecuencia natural de su carácter innato..."

Ante las afirmaciones anteriores tenemos que señalar, que la "Ciencia Intuitiva" que poseen nuestros alumnos, no es "natural". Se trata por el contrario del resultado de un largo proceso de maduración en el que a partir de las experiencias cotidianas y fundamentalmente de la forma de interpretarlas, el niño va a poder ir construyendo sus propios esquemas conceptuales. Estos suponen, pese a que lleven a resultados contradictorios con las ideas científicas aceptadas, un indudable avance respecto a las interpretaciones mágicas iniciales del pensamiento infantil, ya que gracias a la existencia de estos esquemas conceptuales, el niño se muestra capaz de realizar predicciones, generalizar observaciones, y obtener unos resultados que aparentemente funcionan bien en la interpretación de la realidad circundante. De forma análoga podemos referirnos al avance que históricamente supuso el desarrollo de un pensamiento racional, que trata de explicar y encontrar sentido a lo que ocurre, frente a las concepciones mágicas típicas de las sociedades más primitivas, tal y como ocurrió por ejemplo con el establecimiento de las ideas Aristotélicas sobre el comportamiento físico de la materia. Ideas que por supuesto, tampoco se desarrollaron de forma espontánea sino que fueron fruto también de un largo proceso hasta constituir el denominado paradigma Aristotélico- Escolástico.

Un hecho clave que hemos de resaltar por su importancia, es la similitud existente entre ciertos preconceptos de nuestros alumnos y

algunas ideas presentes en la física pre-clásica. Esto ocurre principalmente en el área de la mecánica, en donde por ejemplo, el concepto de fuerza, las ideas sobre la caída de graves y sobre el comportamiento de los gases, etc, recuerdan poderosamente a ciertas concepciones Aristotélico-Escolásticas. A este respecto, Piaget y sus colaboradores (Piaget, 1979), han mostrado la existencia de un notable paralelismo entre la evolución histórica de ciertas concepciones científicas y el desarrollo psicológico de algunas ideas en el individuo. En efecto, según Piaget, la noción de fuerza por ejemplo, en los niños de 2 a 7 años, es activa y consustancial, es decir ligada a cada cuerpo. Como en la Física de Aristóteles, el niño explica el movimiento de los cuerpos por la unión de un disparador externo y una fuerza interior, ambos necesarios. Así, las nubes las lleva el viento porque ellas mismas hacen viento al avanzar (lo que recuerda al esquema peripatético del movimiento). Hay que tener en cuenta que el niño a esa edad está caracterizado por un pensamiento típicamente egocéntrico, en el que todo lo refiere a sí mismo. Los movimientos están dirigidos hacia un objetivo porque su propio movimiento así lo está. La fuerza es activa y sustancial porque así lo es su propia fuerza muscular, etc. Mas tarde estas ideas evolucionan, encontrándonos por ejemplo, con concepciones que concuerdan más con la teoría del ímpetu, desarrollada históricamente en épocas inmediatamente pregalileanas. (Saltiel y Viennot, 1985). Podrían hacerse más investigaciones intentando buscar conexiones entre todos los preconceptos existentes en nuestros alumnos e ideas presentes a través de la historia de la Ciencia. Sin embargo, como intentaremos mostrar, es precisamente en lo que se refiere al comportamiento mecánico de la materia, donde las notables semejanzas existentes, van a resultar más fructíferas. Dichas semejanzas, por otra parte, ya han sido puestas de relieve por numerosos autores (Osborne, 1984), (Whitaker, 1983), (Driver, 1984), (Moreno, 1986), etc. Ahora bien, algo de gran importancia es intentar profundizar más, preguntándose a qué pueden ser debidas. A este respecto, es necesario indicar, que el hecho de que nuestros alumnos tengan por ejemplo unas ideas sobre fuerza, o sobre el comportamiento de los gases, semejantes a las

concepciones Aristotélico-Escolásticas, no puede ser en modo alguno fruto del azar o de la casualidad, sino que lógicamente, ha de obedecer a causas similares. En nuestra opinión dichas causas hay que buscarlas fundamentalmente en la tendencia a extraer conclusiones precipitadas y a hacer generalizaciones acríticas, basándose en observaciones meramente cualitativas y en análisis superficiales, o más concretamente, en lo que hemos denominado "metodología de la superficialidad" (Carrascosa y Gíl, 1985). Es esta metodología la que lleva a Aristóteles a escribir respecto a la caída de los cuerpos:

"Un peso dado cubre una distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en menos tiempo, estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así si un peso es doble que otro, invertirá la mitad de tiempo en un movimiento dado". (De Caelo).

No es pues de extrañar que a la física Aristotélica se la conozca con el nombre de "física del sentido común". (Holton y Roller 1972). También es esta misma metodología la que conduce a nuestros alumnos, (incluso universitarios, y profesores en formación) a afirmar que un cuerpo con doble masa que otro tardará en llegar al suelo, cuando se dejan caer desde la misma altura, justo la mitad de tiempo que el primero (Carrascosa y Gíl 1982). Por nuestra parte, pensamos que esta reflexión tiene una importancia crucial, ya que no solamente explica el paralelismo entre la evolución histórica de la Ciencia y la formación de la "Ciencia Intuitiva" en los niños, sino que también nos permite profundizar y avanzar en el problema de la superación de los errores conceptuales en Física y Química. En efecto, no debemos olvidar que las ideas de la física del sentido común, estuvieron vigentes durante centenares de años y sólo pudieron a empezar ser superadas de forma definitiva cuando se produjo un profundo cambio metodológico, nada fácil, que vino a superar las evidencias de sentido común, introduciendo una forma de pensamiento a la vez más creativa y más rigurosa; una metodología que obligaba a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis (poniendo en cuestión lo obvio) y

a someter dichas hipótesis a contrastación en condiciones controladas, es decir, cuando se comenzó a utilizar lo que hoy se denomina una metodología científica. En base pues, al isomorfismo ya señalado, parece razonable suponer que lo mismo tiene que ocurrir con nuestros alumnos: Si son puestos repetidamente en situación de plantear problemas de forma precisa, de emitir hipótesis, diseñar experimentos, llevar estos a cabo, analizar cuidadosamente los resultados, viendo cómo afectan al esquema conceptual de partida etc, podrán llegar a superar la metodología de la superficialidad haciendo posible los profundos cambios conceptuales que en ocasiones la adquisición de los nuevos conocimientos científicos exige. Así pues, podemos suponer que las dificultades encontradas en conseguir el cambio conceptual, incluso cuando los preconceptos se tienen explícitamente en cuenta (Fredette y Lochhead, 1980; Driver, 1986 a), pueden ser debidas a que la enseñanza habitual de las ciencias no está diseñada con el fin de producir el imprescindible cambio metodológico, familiarizando a los alumnos con una metodología verdaderamente coherente con las características esenciales del trabajo científico (Gíl, 1983); (Gíl, 1986).

En efecto, a principios del siglo XX la enseñanza de la Ciencia estaba centrada fundamentalmente en la transmisión verbal de contenidos ya elaborados, con una ausencia prácticamente total de trabajos experimentales. La insatisfacción con dicho modelo de enseñanza hizo que surgiese en Estados Unidos, un movimiento de renovación pedagógica en el que destacan nombres como Dewey (1938, 1945), Bruner (1960) etc, que se propuso promocionar los métodos de la Ciencia, frente a los propios contenidos de las materias científicas, dando origen a lo que se denominó "modelo de aprendizaje por descubrimiento". Grandes proyectos de enseñanza como los Nuffield y el P.S.S.C en Física, el C.B.A. y el C.H.E.M. en Química, el B.S.C.S en Biología etc fueron elaborados a partir de los años sesenta/setenta, bajo la influencia de este tipo de enseñanza, y experimentados durante años, principalmente en los países anglosajones.

La premisa que parece presidir la mayoría de las propuestas de renovación pedagógica, basadas en el modelo de aprendizaje por descubrimiento, es la de aproximar las propias características del trabajo científico al aprendizaje de las ciencias. No obstante, a pesar de que la justeza de dicha premisa ha sido refrendada, en nuestra opinión, por posteriores investigaciones didácticas (Gíl, 1986), es preciso señalar que el hecho de poner el acento en el valor motivacional de la experiencia directa, en el "descubrir por uno mismo", y el uso frecuente de términos tales como "observación" y "experimento" no suponen, obviamente, que se esté utilizando una metodología verdaderamente acorde con las características esenciales del trabajo científico. Precisamente, dicha concepción -subyacente en el modelo analizado y presente también entre gran parte del propio profesorado- adolece de un carácter excesivamente positivista, basado en la idea de que la solución autónoma a los problemas ocurre necesariamente mediante el razonamiento inductivo a partir de la observación de los datos empíricos. Una enseñanza así presenta pues, una visión distorsionada e inadecuada de la metodología científica. Una visión que no contempla aspectos claves de la metodología científica tales como la emisión de hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos disponible o el mismo diseño de las experiencias (Enyeart, Baker y Vanharlingen, 1980; Gené y Gíl, 1983; Gíl y Payá 1984) que ni siquiera aparecen especificados entre los objetivos de los propios trabajos prácticos (Swain, 1974; Gunning y Johnstone, 1976; Bound et al 1980). Así Yager y Penick (1983), analizando los cursos de ciencias impartidos en las escuelas U.S.A. han mostrado que en la mayoría de los casos no se incluye ni tan solo un experimento en donde los alumnos pudieran identificar y definir un problema, proponer diseños, tomar decisiones etc.

Las características empiristas que estamos comentando, no afectan únicamente a los trabajos prácticos, sino que también se presentan en otras actividades importantes en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, tales como la resolución de problemas. (Gíl y Martínez Torregrosa, 1984).

A la vista de las consideraciones anteriores, no es de extrañar pues, que al evaluar los resultados obtenidos tras varios años de funcionamiento, de los proyectos citados, estos no fuesen en manera alguna, lo satisfactorios que se esperaba (Krasilchik, 1979) y que recibieran duras criticas por parte de algunos autores como Ausubel, (1978 p 536) que llega a afirmar:

"...Como los términos -laboratorio- y -método científico- se volvieron sacrosantos en las preparatorias y universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos pero inherentemente triviales del método científico (...). En realidad con este procedimiento, aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico".

En parecidos términos se manifiesta Hodson (1985), en un trabajo que constituye una cuidadosa y documentada crítica de los resultados obtenidos con los "nuevos currícula", tanto en el aprendizaje logrado por los alumnos, como en lo que respecta a la imagen de la Ciencia transmitida. Las conclusiones de estos análisis han hecho que de nuevo vuelva a reivindicarse el modelo de enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados, modelo que por otra parte, sigue siendo el más aceptado y aplicado en países como el nuestro, donde a pesar de las recomendaciones oficiales (M.E.C. 1975) sobre la necesidad de que se preste atención a la metodología científica en la enseñanza de las ciencias, ello no pasa de ser una mera intención ya que como ha permitido mostrar un detenido análisis de los textos existentes, dicha atención consiste en general, en una simple introducción en el primer capítulo, que raramente es puesta en práctica a lo largo del texto. (Bullejos , 1983).

Así pues, ninguno de los dos modelos de enseñanza/aprendizaje analizados permiten incidir en el cambio metodológico deseado. Es cierto, insistimos, que las críticas de Ausubel y Hodson al modelo de enseñanza por descubrimiento son fundamentadas, pero es preciso

indicar que éstas, en modo alguno ponen en cuestión la validez de un modelo de enseñanza que recoja las características esenciales de la metodología científica, pues como ya hemos intentado mostrar, el aprendizaje por descubrimiento queda muy lejos de dicha metodología. En nuestra opinión, que hemos procurado fundamentar y contrastar a lo largo de esta tesis, no se trata de volver mejorándolo -como proponen Ausubel y Hodson- al modelo de transmisión de conocimientos ya elaborados, sino más bien de proceder a una revisión radical de lo que, a la luz del pensamiento actual en Filosofía y Sociología de la Ciencia, cabe interpretar como actitud científica, (Robinson, 1969), elaborando fundamentadamente un nuevo modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias alejado a su vez del descubrimiento inductivo y del modelo de transmisión/asimilación de conocimientos ya elaborados. (Gil, 1983, 1986).

Sintetizaremos las consideraciones realizadas hasta aquí, enunciando las siguientes hipótesis:

-Sí que existen esquemas conceptuales solidamente arraigados en los alumnos.

-Estos esquemas conceptuales son capaces en muchos casos de persistir sin ser modificados por la enseñanza habitual, que no los toma en consideración. Más aún, cabe esperar que algunas de las ideas intuitivas -en los campos más directamente relacionados con la experiencia cotidiana, como la mecánica- sean sostenidas en niveles educativos superiores con la confianza que generan las evidencias de sentido común.

-El problema de los errores conceptuales no responde únicamente a la existencia de esquemas conceptuales alternativos, sino también y principalmente, a una metodología de la superficialidad ligada al origen de los mismos, que se traduce en respuestas erróneas "seguras y rápidas". Dicho de otra manera: no basta con tener en cuenta la existencia de preconcepciones para producir un cambio conceptual. Se precisa también de un cambio metodológico simultáneo.

Podemos resumir estas conjeturas iniciales en básicamente dos hipótesis que se sustentan mutuamente. Una primera cuya contrastación exigirá un análisis crítico de la enseñanza habitual y una segunda que encierra una propuesta positiva:

1ª) *La gran abundancia y persistencia de graves errores conceptuales de Física y Química en todos los niveles educativos, e incluso entre parte del propio profesorado, se debe fundamentalmente a que la didáctica habitual no tiene en cuenta los esquemas conceptuales de los alumnos ni tampoco su metodología connatural de trabajo o "metodología de la superficialidad".*

2ª) *Ni la enseñanza reiterada, ni la atención explícita a las ideas previas de los alumnos es suficiente para producir mejoras importantes en la adquisición significativa de los conocimientos científicos. Tales mejoras pueden lograrse, sin embargo, con una orientación didáctica que plantee el aprendizaje como construcción de conocimientos siguiendo pautas similares a las del trabajo científico. Dicho de otro modo, la adquisición significativa de conocimientos, el cambio conceptual, ha de plantearse solidariamente con un cambio metodológico que conduzca a la superación de la metodología de la superficialidad y a la familiarización de los alumnos con la metodología científica.*

El desarrollo de este trabajo se ajusta en cierto modo a estas hipótesis y queda dividido en dos partes fundamentales. De acuerdo con ello trataremos seguidamente de operativizar la primera de las hipótesis, extrayendo de la misma una serie de consecuencias que sean susceptibles de contrastación experimental, posponiendo el tratamiento de la segunda hipótesis. Con ello se pretende conseguir una mayor claridad y efectividad en la exposición, aunque, naturalmente, sólo la verificación empírica de ambas hipótesis desde distintos ángulos y con resultados coherentes, dará finalmente validez a las conclusiones que extraigamos.

3-DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA CONTRASTACION DE LA PRIMERA HIPOTESIS.

A continuación vamos a proceder a exponer una visión global de los diseños elaborados para contrastar experimentalmente la primera de nuestras hipótesis. Después de dicha visión general, procederemos a comentar con mayor detalle cada uno de los diseños en particular.

3-1 Operativización de la primera hipótesis y visión general del diseño.

Según la hipótesis ya enunciada y fundamentada, sobre las causas fundamentales de la gran abundancia y persistencia de los errores conceptuales en Física y Química en todos los niveles educativos y también incluso entre parte del propio profesorado de enseñanza Básica y Media, estas habría que buscarlas fundamentalmente en que la didáctica de la Física y Química en general, ignora la existencia de preconcepciones y esquemas conceptuales entre los alumnos así como su metodología habitual de trabajo caracterizada esencialmente, por la tendencia a sacar conclusiones precipitadas, la ausencia de planteamientos críticos, de análisis de resultados etc, a la que hemos denominado " metodología de la superficialidad ".

Al presentar aquí una panorámica del diseño experimental queremos en primer lugar llamar la atención sobre el error en el que a menudo se ha incurrido, de confundir la investigación didáctica con trabajos de tipo sociológico: el objeto de una investigación didáctica como la que hemos realizado, no es obtener resultados representativos de una población, como por ejemplo podría ser el llegar a decir que "el X% de los estudiantes españoles de 2º de B.U.P. ...". Por el contrario, se trata de abordar problemas concretos en profundidad utilizando muestras no necesariamente muy amplias, pero en donde se han multiplicado las formas de contrastación con objeto de mostrar la coherencia de los distintos resultados. Más aún, en educación estamos interesados por producir diferencias importantes, lo que lógicamente reduce las exigencias de tamaño de las muestras para que dichas diferencias sean estadísticamente

significativas (Wilson et al, 1981). Así una reciente tesis doctoral (Hewson and Hewson, 1984) se ha basado en el trabajo realizado con menos de 40 alumnos. Por supuesto ello plantea el problema de la generalización y exige replicaciones de las investigaciones, mediante la utilización de otras muestras. Así se está trabajando en el dominio que nos ocupa y se está pudiendo contrastar que los resultados obtenidos en investigaciones realizadas en Israel, Nigeria, E.E.U.U. etc, apuntan todos en una misma dirección. Cada una de dichas investigaciones, sin embargo, ha pretendido sobre todo mostrar la coherencia de múltiples resultados relativos a una determinada muestra, en general relativamente pequeña.

El planteamiento que acabamos de exponer ha sido también el nuestro, aunque por tratarse de la primera vez en que un estudio de este tipo se realiza en nuestro país hemos intentado afianzar al máximo los resultados utilizando diversas muestras que han implicado, en total, números comparativamente elevados de alumnos (3.645), profesores en formación (312), y profesores en activo (195). La característica fundamental del diseño, no obstante, sigue siendo la de una multiplicidad de abordajes con objeto de mostrar la coherencia de los distintos resultados. De este modo como veremos a lo largo de la exposición del diseño correspondiente a la primera hipótesis, hemos recurrido a un total de 14 contrastaciones experimentales de las distintas derivaciones operativas de la misma, utilizando diversas muestras y recurriendo a análisis de textos, cuestionarios para alumnos y profesores (en formación y en activo), entrevistas y discusiones con los mismos, etc.

Pasaremos ahora a dar una visión general de dicho diseño, (los diseños particulares serán comentados con detalle en los capítulos siguientes), operativizando para ello la primera hipótesis general enunciada en el capítulo anterior. Esta operativización la hemos concretado inicialmente en los siguientes puntos:

- 1º) Al contrario de lo que recientemente afirman algunos autores como Mc Clelland (1984), los preconceptos existen, y los errores conceptuales cometidos por los alumnos responden a dichos preconceptos no siendo posible atribuirlos a respuestas dadas al azar o a simples olvidos o fallos de información.
- 2º) En la enseñanza habitual de la Física y Química, no se tiene en cuenta en general la existencia de los errores conceptuales cometidos por los alumnos y en consecuencia tampoco se plantea su tratamiento.
- 3º) Los errores conceptuales cometidos por los alumnos y también por parte del profesorado, se hallan íntimamente asociados tanto en su origen como en su consolidación con la ya mencionada metodología de la superficialidad, que es una forma de actuar profundamente asumida por la mayor parte de los alumnos y profesores.
- 4º) La enseñanza habitual de la Física y Química no incide de forma significativa en la metodología de la superficialidad y en consecuencia resulta incapaz de producir progresos aceptables respecto a la resolución del problema de los errores conceptuales, incluso cuando tiene en cuenta de forma explícita la existencia de los mismos.

Cada uno de los puntos anteriores es susceptible a su vez de concretarse en una serie de aspectos directamente contrastables. A continuación procederemos a enumerarlos y en los capítulos siguientes mostraremos detalladamente los diseños elaborados para su contrastación experimental.

En el primer punto se hace referencia a que los preconceptos de los alumnos existen realmente. Esto supone admitir que los errores conceptuales no consisten en respuestas aleatorias dadas mas o menos al azar, para salir del paso cuando uno no sabe, no tiene interés o

simplemente ha olvidado ciertos conocimientos que en su día tuvo. Por el contrario, los errores conceptuales hay que relacionarlos entre otras cosas, con la existencia de ideas intuitivas concretas, bien definidas, y en muchos casos solidamente arraigadas, formando esquemas conceptuales en la mente de los alumnos. Dichas ideas se conocen con el nombre de ideas preconcebidas, ideas intuitivas o simplemente preconceptos, y con frecuencia sobreviven a los conocimientos que teóricamente las contradicen, poniendo así en cuestión la eficacia del modelo habitual de enseñanza de las ciencias para solucionar el problema de los errores conceptuales, tal y como se afirma en el segundo punto. Por otra parte si tenemos en cuenta el importante papel que las experiencias cotidianas y el modo habitual de interpretación de las mismas (metodología de la superficialidad), es de esperar que los preconceptos más arraigados y por tanto más difíciles de erradicar, sean los referidos al área de la mecánica, dada la relación tan directa y reiterativa que dicho dominio tiene con la actividad normal de toda persona. Esta diferente "intensidad" de los preconceptos de mecánica respecto a los demás, muestra la no arbitrariedad de los errores conceptuales cometidos por los alumnos y tiene, como veremos más adelante, indudables repercusiones didácticas. Si los razonamientos anteriores son ciertos, podemos esperar que:

- 1-a Al proponer a los alumnos diversas cuestiones, elaboradas específicamente para mostrar si se maneja o no correctamente un concepto determinado, ha de aparecer el mismo tipo de respuestas erróneas y además en porcentajes lo bastante altos como para dejar claro que éstas no se deben a contestaciones dadas al azar.
- 1-b El carácter no arbitrario ni puramente idiosincrático de los preconceptos detectados se mostrará, entre otras formas, en su reproductibilidad, es decir, por su aparición en muestras diversas, con porcentajes similares.
- 1-c El carácter no arbitrario de los preconceptos, va a mostrarse además en el tipo de explicaciones que se den a las respuestas, que

también serán similares haciendo referencia a los mismos preconceptos.

1-d Los errores conceptuales no serán típicos sólo de los alumnos más jóvenes sino que los mismos errores deben hallarse presentes también entre alumnos de niveles superiores. Este hecho sería un índice claro no sólo de la persistencia de los preconceptos que llevan a los alumnos a cometer dichos errores sino también de la ineficacia de la enseñanza habitual para cambiarlos.

1-e Los alumnos cometerán abundantes errores conceptuales, incluso inmediatamente después de las explicaciones proporcionadas en clase sobre los conceptos implicados.

1-f Los errores conceptuales serán cometidos por los alumnos con el convencimiento de que lo que han contestado es cierto, es decir con una seguridad elevada en la respuesta, hecho que en nuestra opinión, mostraría una vez más que no se trata de contestaciones dadas al azar, para salir del paso etc, sino de preconceptos solidamente arraigados.

1-g Los preconceptos no se dan con la misma intensidad en todos los campos de la Ciencia. En particular, y por las razones apuntadas anteriormente, cabe esperar que los preconceptos más arraigados sean los relacionados con cuestiones de mecánica. Ello se ha de traducir en que los errores conceptuales cometidos en este dominio estarán caracterizados por un mayor grado de confianza acerca de su validez, siendo este a su vez un nuevo índice sobre la no arbitrariedad de los mismos

Para poder comprobar experimentalmente lo anterior, hemos elaborado cuestionarios relativos a algunos conceptos importantes de Física y Química. Inicialmente nuestra elección se centró únicamente en dos importantes problemas de mecánica: la caída de graves y el concepto de fuerza. La intención fué la de realizar una primera prueba que nos

indicase cómo estaba la situación en nuestro entorno, de modo que si los resultados confirmaban nuestras expectativas sobre la abundancia de errores conceptuales con que nos íbamos a encontrar -como de hecho ocurrió- seguiríamos adelante por el camino trazado, procediendo entre otras cosas a una ampliación del trabajo aumentando el número de preconceptos a investigar, correspondientes a distintas áreas de la Física y Química (Carrascosa, 1982).

Por otra parte, el hecho de escoger precisamente la caída de graves y el concepto de fuerza para elaborar el cuestionario inicial, responde también a otras razones. En primer lugar hemos de señalar que se trata de dos aspectos que se estudian en prácticamente cualquier nivel educativo desde los últimos cursos de E.G.B. hasta en la Universidad. Ello nos permite medir no sólo la existencia y abundancia de importantes preconceptos, sino también el grado de persistencia de los mismos a través de los distintos niveles educativos, analizando la influencia que la enseñanza recibida tiene sobre ellos. En segundo lugar hemos de destacar la relevancia de los conceptos manejados, los cuales como es bien sabido, jugaron un papel muy importante en la física pre-galileana y en el surgimiento de la física clásica. Del concepto de fuerza ha llegado a afirmarse que constituye un concepto básico sobre el que se apoya no solo la dinámica sino prácticamente toda nuestra ciencia física. (Holton y Roller, 1972 p 75).

Este diseño inicial fue, como hemos indicado, posteriormente ampliado incorporando cuestiones que se refieren a otros conceptos de Física y de Química que han sido utilizadas con distintas muestras a lo largo de cinco años. En dichos cuestionarios se pedía siempre de manera explícita, la inclusión de comentarios y explicaciones a las respuestas, realizándose también a veces entrevistas y discusiones en grupo al terminar de pasarlos. En alguno de los cuestionarios se estudia también el grado de seguridad con que los alumnos dan las respuestas.

En el segundo punto se afirma que en la enseñanza habitual de la Física y Química, no se tiene en cuenta en general la existencia de los errores

conceptuales cometidos por los alumnos y en consecuencia tampoco se plantea su tratamiento.

Para comprobar en qué medida esto es cierto, hemos realizado un análisis de los libros de texto utilizados habitualmente en la enseñanza de la Física y Química. Con esta idea hemos escogido los conceptos ya mencionados anteriormente (el concepto de fuerza y el problema de la caída de graves), a los que hemos añadido el "principio de conservación de la masa" y "naturaleza y comportamiento de la materia en estado gaseoso". Respecto a la conservación de la masa, hemos de destacar que aunque se trata de un principio de gran importancia en Química y en Física, y que hoy en día resulta fácil de comprender, históricamente no comenzó a clarificarse hasta finales del siglo XVIII con los trabajos de Lavoisier y el derrumbamiento de la teoría del flogisto. No es pues extraño encontrarnos con errores conceptuales en torno a este principio, cometidos principalmente por los alumnos más jóvenes. En parecidos términos podemos expresarnos respecto a las ideas sobre la naturaleza y el comportamiento de los gases, donde de nuevo entre los alumnos de los niveles más bajos encontramos algunas concepciones erróneas, como por ejemplo la de que los gases no pesan y la de que al comprimir un gas las partículas de este se reducen de tamaño. (Furió y Hernández, 1983), (Driver, 1983), (Carrascosa y Gil, 1986). Esta última idea recuerda a ciertas concepciones presentes en el modelo de Dalton para los gases.

Otro campo en donde puede mostrarse la poca importancia que en la enseñanza habitual se da al tema de los errores conceptuales es en los exámenes propuestos por los propios profesores, donde como es lógico se proponen aquellas cuestiones y problemas que se consideran más importantes.

Si las suposiciones anteriores son correctas, podemos esperar que:

2-a Al analizar los libros de texto de Física y Química habitualmente empleados desde 7º de E.G.B. hasta C.O.U. se ha de constatar que en ellos se ignora la existencia misma de los preconceptos y en

consecuencia ni siquiera se plantea el tratamiento de los errores conceptuales cometidos por los alumnos.

- 2-b Al analizar los distintos tipos de pruebas y exámenes propuestos a los alumnos a través de cursos sucesivos, nos vamos a encontrar con una ausencia notable de preguntas, problemas, etc, en donde de alguna manera se refleje un mínimo grado de atención hacia el problema de los errores conceptuales.

Respecto al tercer punto, sobre la importancia fundamental que tiene la metodología de la superficialidad en el origen y consolidación de los preconceptos, hemos de resaltar que és este probablemente el núcleo central en torno al cual gira todo el trabajo y en el que hemos realizado las aportaciones teóricas más novedosas (Gíl y Carrascosa, 1985), tal y como ya se ha señalado en el primer capítulo cuando tratábamos de fundamentar nuestra primera hipótesis. Esta clase de metodología, basada en el "sentido común" y caracterizada esencialmente por realizar generalizaciones acríticas, sacar conclusiones precipitadas, ausencia de análisis de los resultados, etc, es la que utilizan normalmente un gran número de alumnos. Según esto, cabe esperar que:

- 3-a Se den brevísimos tiempos de respuesta en la cumplimentación de los cuestionarios que se propongan con ausencia de una revisión crítica de las mismas aun cuando se advierta previamente contra la facilidad de equivocarse.
- 3-b Ausencia notable de cualquier tipo de comentarios, explicaciones, etc, a las respuestas dadas al contestar los cuestionarios aunque en ellos se invite expresamente a hacerlo.
- 3-c Entre los alumnos y también entre algunos profesores se practique en muchos casos un "operativismo mecánico" consistente esencialmente en sustituir rápidamente los datos en fórmulas sin ninguna reflexión previa, sin un análisis cuidadoso de los resultados etc

El diseño para el cuarto y último punto, pretende completar el que acabamos de exponer. En efecto, en el tercer punto se intenta mostrar la existencia e importancia de la metodología de la superficialidad. Pretendemos ahora profundizar todavía más, mostrando cómo la enseñanza habitual no sólo no se plantea el tratamiento de la metodología de la superficialidad sino que incluso la estimula. Ello se evidencia en que el profesorado en general (no sólo el de Física y Química) desarrolla en sus clases una metodología que en muchos aspectos difiere escasamente de la que él mismo recibió en su propia escolaridad, ajustándose a la transmisión de conocimientos ya elaborados, reproduciéndose así los mismos defectos y fallos que favorecen la implantación de la metodología de la superficialidad en los alumnos. Vencer esta situación es una tarea no exenta de dificultades ya que entre otras cosas, exige cambiar la inercia de muchos años. Además hay que contar con la existencia en muchos casos de currícula inabordables que siguen pesando en la actividad del profesor favoreciendo también los tratamientos superficiales. Por otra parte, la importancia de la metodología de la superficialidad o del sentido común, es tan grande y ésta se encuentra tan íntimamente relacionada con el problema de los errores conceptuales, que pensábamos que la enseñanza habitual no podría ser capaz de superar el problema de dichos errores de forma significativa, ni siquiera aun teniéndolo explícitamente en cuenta , ya que para ello sería preciso un profundo cambio metodológico, que de hecho no se dá.

Podemos resumir lo anterior en los siguientes puntos:

- 4-a Los profesores en general (y no solamente los de ciencias), desarrollan durante sus clases normas de conducta que favorecen la metodología de la superficialidad entre sus propios alumnos.
- 4-b La importancia de la metodología de la superficialidad es tan grande que aunque la enseñanza fuese planificada cuidadosamente para eliminar los errores conceptuales, no cabe esperar que los resultados obtenidos sean significativamente mejores si dicha metodología no se ve afectada.

Para comprobar el punto 4-a, se diseñó un cuestionario para pasar a los alumnos, destinado a reflejar algunos aspectos claves de la actitud del profesorado durante las clases.

Para contrastar experimentalmente el punto 4-b, hemos elaborado un documento dirigido al profesorado en donde exponemos el problema de los errores conceptuales proporcionando algunos ejemplos e insistiendo en la necesidad de tener en cuenta los preconcepciones de los alumnos si queremos conseguir de verdad un aprendizaje significativo de los distintos conceptos científicos. Este documento -que no menciona los aspectos metodológicos- ha sido discutido ampliamente con distintos profesores de Física y Química de enseñanza media, a los que se les ha pedido su colaboración requiriéndoles para que durante sus clases presten especial atención al problema de los errores conceptuales cometidos por sus alumnos, y advirtiéndoles que a final del curso se pasará a los mismos una prueba para detectar posibles errores conceptuales, comparando los resultados obtenidos con los de otros alumnos "no tratados". Si la metodología de la superficialidad tiene tanta importancia como pensamos, no esperamos encontrar grandes diferencias entre ambos grupos.

Presentamos ahora detalladamente el diseño correspondiente a cada una de las cuatro derivaciones que sobre la primera hipótesis se han enunciado al comienzo.

3-2 Diseño para contrastar que los errores conceptuales cometidos por los alumnos no pueden ser atribuidos a respuestas dadas al azar ni a simples olvidos o fallos de información.

Para comprobar lo anterior hemos diseñado en primer lugar un cuestionario respecto al concepto de fuerza y la caída de graves, que tal y como ya hemos expuesto, constituyen dos problemas importantes y presentes en casi todos los temarios de Física desde E.G.B. hasta la Universidad. Como veremos en este mismo apartado dicho cuestionario ha sido ampliado incluyendo más cuestiones de otros dominios de la Física y de la Química, pero inicialmente consideramos útil iniciar nuestro estudio con dos de los temas -concepto de fuerza y caída de graves- más tratados en la literatura. En este cuestionario inicial, al que denominaremos CUESTIONARIO I, hemos incluido unas cuestiones en donde los problemas se abordan directamente y otras diferentes en donde se hace indirectamente. Dicho cuestionario es el resultado de un proceso que ha incluido la intervención como "expertos" de algunos profesores de Física y Química y también de un grupo de profesores de Filosofía (materia esta última en la que también se estudian los problemas escogidos para el análisis), así como ensayos piloto con grupos de alumnos, con el propósito de eliminar ambigüedades, dificultades de comprensión, etc. De esta forma se ha llegado a elaborar el siguiente cuestionario:

La cuestión de tipo directo para caída de graves fué:

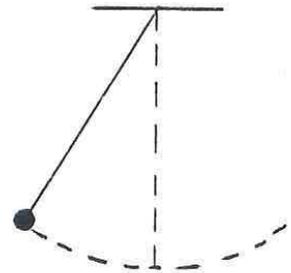
1ª Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuanto tiempo tardará otro de doble masa que se deja caer desde la misma altura?

Indudablemente las respuestas aceptables para dicha cuestión son múltiples, desde "el mismo tiempo" ó más precisamente "el mismo tiempo si caen en el vacío" ó "igual tiempo en ausencia de rozamiento", hasta "casi el mismo tiempo", ó "distinto tiempo dependiendo del rozamiento" etc. En cualquier caso, lo que se trata de averiguar es cuántos alumnos afirman escuetamente "medio segundo". Un elevado porcentaje de dicha respuesta,

evidenciaría que ésta no viene dada al azar, sino que responde a un profundo convencimiento del alumno, según el cual la duración de caída de los cuerpos guarda una proporcionalidad inversa con su peso, de modo que consecuentemente con ello, si pesa el doble lo "lógico" será que tarde la mitad de tiempo.

Análogas conclusiones pueden extraerse del resto de las cuestiones. Así las de tipo indirecto, referentes también a caída de graves son:

2ª En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar subrayando donde corresponda, si el periodo (tiempo que tarda en dar una oscilación) depende o no de cada uno de los siguientes factores:



- a) La longitud del hilo: Si depende / No depende / No sé
- b) La masa del cuerpo: Sí depende / No depende / No sé
- c) La gravedad "g": Sí depende / No depende / No sé

Con la cuestión anterior se trataba únicamente de buscar si los alumnos piensan que la masa influye en el periodo, en razón de considerar -como se puso en evidencia en las entrevistas individuales realizadas- que "si la bolita es más pesada caerá más aprisa". Los otros dos factores se han introducido únicamente para evitar que se vea una relación demasiado evidente con la cuestión directa.

3ª Se lanza un objeto verticalmente hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de seis metros. ¿Qué altura alcanzará otro objeto cuya masa es la mitad que la del primero, lanzado con la misma velocidad?

En esta cuestión el error conceptual conduce evidentemente a suponer que el segundo objeto alcanzará una altura "doble que la del primero".

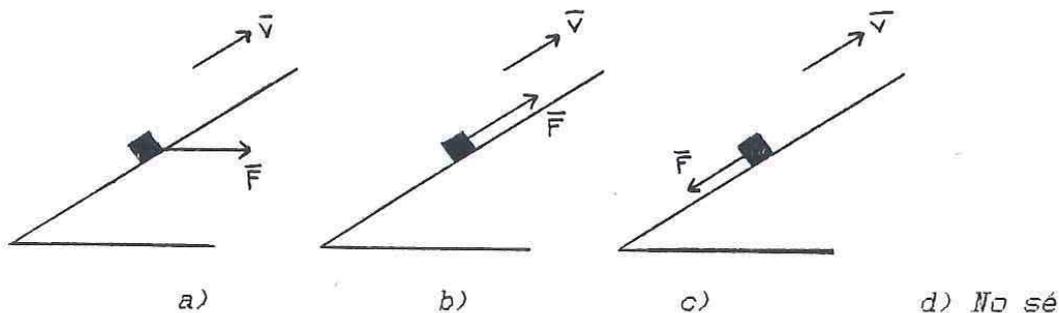
Respecto al concepto de fuerza, la cuestión directa dice:

- 1ª Las observaciones más comunes muestran que para que un objeto permanezca en movimiento, es necesario que esté actuando una fuerza sobre él, de forma que si cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones deben interpretarse correctamente diciendo que las fuerzas son la causa de

Nótese la expresión "deben interpretarse correctamente" introducida para evitar una respuesta automática y llamar la atención sobre la necesidad de una reflexión previa. Pese a ello esperábamos encontrar un elevado porcentaje de alumnos que asociarían fuerza a velocidad y no a aceleración.

Las otras cuestiones (indirectas) se exponen a continuación:

- 2ª Se lanza un cuerpo hacia arriba por un plano inclinado, de forma que una vez lanzado sigue ascendiendo. Indicar, señalando con una cruz donde corresponda, cual de los tres esquemas siguientes representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo mientras este asciende.



De acuerdo con nuestra hipótesis esperábamos encontrar elevados porcentajes de respuestas que incluyesen fuerzas en la dirección del movimiento.

3ª Señalar verdadero, falso o no lo sé en cada una de las siguientes proposiciones:

a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza (o si la fuerza resultante es nula), deberá de estar en reposo.

b) El movimiento de un cuerpo, siempre tiene lugar en la misma dirección de la fuerza resultante.

c) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante que actúa sobre el mismo en dicho instante también lo será.

Las tres proposiciones de que consta esta última cuestión, son fruto de errores percibidos entre los alumnos de bachillerato. La idea de fuerza como causa del movimiento, hace que se relacione a ésta con la velocidad y no con la aceleración, llevando a considerar como verdaderas las tres proposiciones.

Todas las cuestiones quedan plasmadas en una hoja policopiada, (CUESTIONARIO I). (pág 52). En dicha hoja el orden en que se presentan las cuestiones es distinto al aquí expuesto, con el fin de evitar asociaciones. Observese también la inclusión del apartado "No lo sé", con el que se pretende disminuir las respuestas dadas al azar.

Una vez elaborado el cuestionario de forma definitiva, con objeto de aumentar la fiabilidad de los resultados, el pase del mismo fue realizado del siguiente modo:

En primer lugar, acudimos personalmente a los centros y se pasó sin que el profesor que impartía la asignatura tuviese conocimiento previo del contenido del mismo. Durante su cumplimentación por los alumnos estuvimos presentes en todos los casos, teniendo buen cuidado en crear un clima de tranquilidad (no dando un tiempo límite para las respuestas) y pidiendo la máxima colaboración (explicando que no se trataba de un examen y

que en caso de que no supiesen contestar no dudaran en dejar en blanco la respuesta o poner "no lo sé", etc). Por otra parte, para profundizar más en la interpretación de las respuestas dadas por los alumnos se les invitó siempre explícitamente, a que hicieran todas las aclaraciones u observaciones que creyesen oportunas para justificar las respuestas, utilizando para ello la misma hoja del cuestionario. También se realizaron coloquios y entrevistas personales con los alumnos al terminar de pasar el cuestionario.

En cuanto al número de alumnos a encuestar, ha sido lógicamente el suficiente como para considerarse estadísticamente válido. En trabajos de este tipo, se suele recomendar un mínimo de treinta a cincuenta por cada grupo encuestado (Serramona, 1980); (Wilson et al, 1981). De hecho en muchos de los artículos que hemos consultado, se manejaban cifras que en general oscilaban entre cuarenta y unos pocos centenares por cada grupo. (La gran mayoría no sobrepasaban los cien). Nosotros hemos utilizado en este caso más de 140 alumnos por cada grupo. Además, en los grupos han estado representados los distintos centros de enseñanza tanto estatales como privados, y se han abarcado todos los niveles, desde segundo de B.U.P. hasta la Universidad. Respecto a los niveles superiores, estos están representados por alumnos de escuelas universitarias de formación del profesorado (especialidad ciencias), y por alumnos de segundo curso de la Facultad de Químicas.

Señalemos también, que el hecho de que los conceptos tratados se encuentren desarrollados en los currícula de casi todos los niveles educativos desde E.G.B hasta en la Facultad, nos permite hacer un seguimiento de los preconcepciones implicados midiendo el efecto que la enseñanza habitual curso tras curso va teniendo sobre la persistencia de los mismos, efecto que según nuestra hipótesis, será más bien escaso, particularmente en este tipo de cuestiones tan directamente relacionadas con experiencias y fenómenos cotidianos que se repiten de forma tan insistente y en los que el sujeto participa de forma activa. Por otra parte, se pasó el CUESTIONARIO I, inmediatamente después de que a los alumnos se les impartiesen las clases en donde de manera específica se

tratan los problemas que se plantean en el mismo. El hacerlo de este modo elimina la posibilidad de que los errores conceptuales cometidos se deban a simples olvidos de conceptos correctamente aprendidos en su momento. Esto es, pensamos, un aspecto novedoso en este tipo de trabajos y nos ha permitido comprobar hasta que punto la enseñanza habitual incide o no, siquiera provisionalmente, sobre los preconceptos.

Como ya hemos indicado, el número de temas tratado se ha ampliado en los distintos cuestionarios elaborados, con objeto de incluir cuestiones de otros capítulos de la Física y particularmente de la Química. Hemos considerado así doce cuestiones de las cuales seis corresponden a diversos aspectos de Química. Expondremos a continuación las cuestiones utilizadas, que designaremos como AMPLIACION CUESTIONARIO I (pág 54) el cual pasamos a comentar brevemente.

1ª) *Un satélite artificial gira con movimiento uniforme alrededor de la tierra, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (señalar con una cruz la respuesta correcta)*

- a) La fuerza de atracción gravitatoria*
- b) La gravitatoria y la centrífuga*
- c) La gravitatoria y la centrípeta*
- d) La gravitatoria la centrífuga y la centrípeta*
- e) Otra respuesta (especificar)*

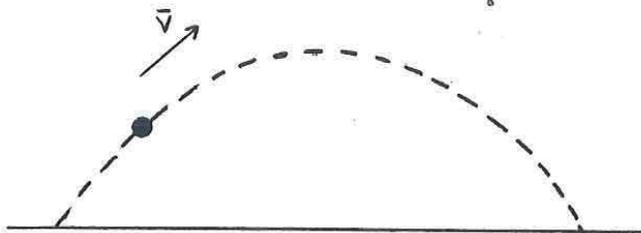
En esta cuestión la idea de fuerza como causa necesaria para explicar el movimiento lleva a señalar como correcta la posibilidad b) -para justificar precisamente, que el satélite no caiga sobre la tierra, como "debería" de suceder si no existiera una fuerza que compensara a la fuerza de atracción gravitatoria- y en ocasiones la d) o incluso la c) mostrando así que se considera a la fuerza centrípeta como una clase especial de fuerza además de la gravitatoria.

2ª) Un objeto A de masa m circula con una velocidad de 5 m/s. Otro B de masa $(3/4)m$ lo hace con una velocidad de 6 m/s. ¿Cual de los dos posee más fuerza?

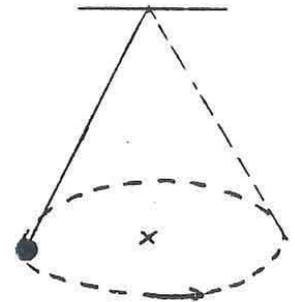
- a) El A b) El B c) Otra respuesta...

En esta cuestión, obviamente, ambas opciones son falsas. Sin embargo, la idea de que todo objeto en movimiento lleva asociada una fuerza impulsora, lleva a elegir una de las dos opciones, relacionando esta supuesta fuerza con la mayor velocidad, o lo que es más frecuente, con la mayor cantidad de movimiento.

3ª Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera y su resultante. (La flecha indica en cada caso la dirección del movimiento en el instante representado. El rozamiento se considera nulo).



Tiro oblicuo



Péndulo cónico.

La idea de fuerza como causa necesaria del movimiento de los cuerpos lleva a dibujar en ambos casos, sendos vectores en el mismo sentido en que se mueve el cuerpo.

4^a) Un sistema está constituido por un objeto de masa m y la tierra M . En este caso podemos asegurar que: (señalar con una cruz la respuesta correcta)

- a) Solo el cuerpo de masa m posee energía potencial gravitatoria
- b) La energía potencial del cuerpo es mayor que la de la tierra.
- c) La energía potencial de la tierra es mayor que la del cuerpo.
- d) Otra respuesta (especificar)...

Se trata de medir hasta qué punto está extendida la creencia de que la energía potencial gravitatoria es algo que posee cada cuerpo.

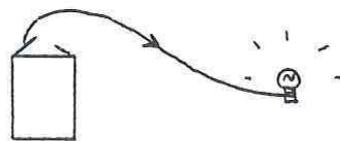
5^a) Señalar por medio de una cruz cual es la afirmación más correcta:

- a) De nuestros ojos sale luz que llega a los objetos haciendonos notar su presencia.
- b) Para poder ver un objeto, es necesario que éste difunda la luz que recibe (del sol, bombilla etc), en todas direcciones.
- c) Podemos ver los objetos gracias a que su imagen es transportada hasta nuestros ojos por la luz que reflejan.

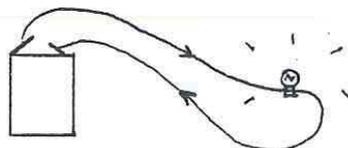
La opción a) recuerda en cierto modo a algunas ideas que sobre este fenómeno se dieron en la antigua Grecia. La opción c) es típica de alumnos más mayores y consiste en asignar a la luz el papel de vehículo de transporte de la imagen ya formada.

6ª) Señalar cuál de las situaciones siguientes describe correctamente lo que le ocurre a la corriente eléctrica:

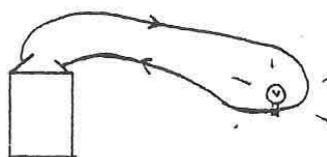
a) La corriente sale de un polo de la pila y se consume en la bombilla.



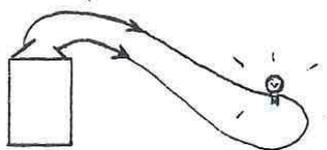
b) Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



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



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



En esta cuestión sobre electricidad, aparece claramente la idea de que la corriente eléctrica es algo que "se gasta" al pasar por los aparatos.

7ª Al calentar el sólido NH_4Cl se descompone en HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanzará un estado de equilibrio según la ecuación:



Señala cual de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración del sólido NH_4Cl :

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) Disminuir la presión.
- d) Otra respuesta (especificar)...

8ª) Una mezcla de N_2 , H_2 y NH_3 está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación:



La mezcla en equilibrio contiene: 1.3 moles de NH_3

0.1 moles de N_2

0.3 moles de H_2

Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio K_c para dicha reacción. Elige cual de las respuestas siguientes te parece correcta:

a) $K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$

b) $K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$

c) Otra respuesta

d) No lo sé.

En las dos cuestiones anteriores la confusión entre cantidad de sustancia y concentración y la propia metodología de la superficialidad pueden llevar a contestar erróneamente.

9a) Cuando representamos la reacción entre hidrógeno y oxígeno gaseosos por medio de la ecuación química:



Dicha ecuación indica que: (Señalar cierto o falso en cada caso)

- a) Inicialmente había dos moles de moléculas de hidrógeno y una mol de moléculas de oxígeno, y al reaccionar se han transformado en dos moles de moléculas de agua.
- b) Cada dos gramos de hidrógeno que reaccionan, lo hacen con un gramo de oxígeno dando dos gramos de agua.
- c) Otra respuesta...
- d) No lo sé.

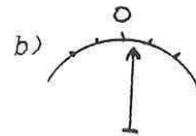
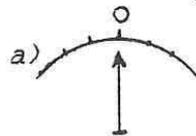
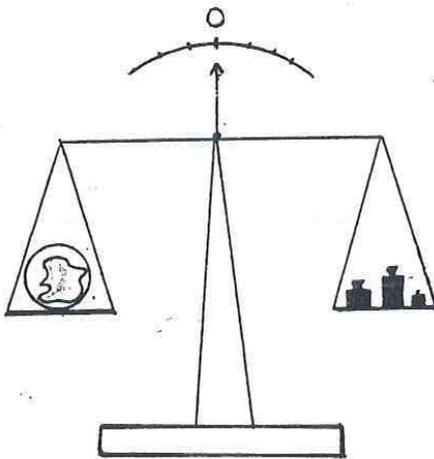
10a) Según el modelo atómico de Bohr, el ión H^+ consiste en: (Señalar la respuesta correcta)

- a) El núcleo del átomo de hidrógeno y una órbita vacía.
- b) El núcleo del átomo de hidrógeno únicamente.
- c) El núcleo del átomo de hidrógeno y varias órbitas vacías.
- d) No lo sé.

La cuestión 9a, permite detectar ideas equivocadas en torno al significado de los coeficientes que aparecen en las ecuaciones químicas, tales como suponer que a la izquierda se representan los moles de cada sustancia que existían inicialmente, o bien suponer que los coeficientes significan gramos. Esta última idea podría además en este caso concreto, revelar una incorrecta asimilación del principio de conservación de la masa.

Con la cuestión 10ª, se pretende averiguar hasta qué punto se halla extendida la idea, de que las órbitas que describen los electrones según el modelo atómico de Bohr, tienen existencia material independiente de estos.

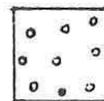
11ª) En la balanza adjunta hay una esfera de vidrio cerrada con una bola de papel dentro. En el platillo de la derecha se han colocado pesas hasta que se alcanza el equilibrio. Por medio de una lupa se hace arder totalmente el papel. Señalar cual de los esquemas indica correctamente lo que marcará el fiel de la balanza:



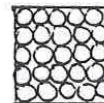
d) No sé

12ª) Una de las propiedades más conocidas del aire es su compresión (facilidad con que su volumen disminuye al aumentar la presión, como puede comprobarse fácilmente con una jeringuilla). Indicar cual de los esquemas siguientes interpreta adecuadamente esta propiedad:

a) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen.



b) Al presionar, las partículas se comprimen reduciéndose así su tamaño.



c) No lo sé.

Para muchos alumnos, sobre todo los más pequeños, el principio de conservación de la masa no es evidente, y en casos como el propuesto en la cuestión 11ª, piensan que el oxígeno consumido "desaparece". Esto les llevaría a considerar el caso b) como el correcto.

Con la cuestión 12ª, se pretende poner de manifiesto la creencia relativamente extendida de que cuando la materia se comprime, son sus propias partículas las que se reducen de tamaño.

Mediante las doce cuestiones anteriores intentaremos mostrar cómo los errores conceptuales afectan a diversos dominios de la Ciencia. De hecho son ya bastante numerosos los trabajos realizados para investigar la existencia de preconceptos no solo en Física y Química sino también en Biología y Matemáticas. (Anexo I, pág 274), (Osborne y Wittrock, 1983).

Podría así pensarse que la existencia de preconceptos sólidamente arraigados y difíciles de erradicar es general y afecta por igual a todos los campos del conocimiento científico. Sin embargo esta visión uniforme no es correcta y entra en contradicción con el modelo teórico que se ha elaborado para explicar la existencia misma de los preconceptos y fundamentar posibles estrategias de tratamiento.

En efecto, según el modelo constructivista de aprendizaje, los preconceptos de los alumnos no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que están estructurados en verdaderos "esquemas conceptuales alternativos". (Driver 1986 a), dotados de una cierta coherencia interna y que juegan un papel esencial en el proceso de aprendizaje.

Estos esquemas conceptuales son el resultado de la actividad del niño en su vida cotidiana. Se trata de un proceso que conduce, como ya hemos analizado, a "evidencias de sentido común", a través de generalizaciones acríticas. Pues bien, si el origen de tales preconceptos, y sobre todo, la dificultad de modificarlos, está ligada a estas evidencias de sentido común, es de esperar que sean precisamente aquellos esquemas conceptuales

alternativos correspondientes a las experiencias de mecánica (caída de graves, relaciones fuerza/movimiento, etc) los que resulten más difícilmente modificables, dado el carácter reiterado y "globalizador" de estas experiencias, sin que puedan esperarse las mismas barreras epistemológicas en otros campos más alejados de la propia experiencia personal.

De las anteriores consideraciones podemos pues derivar las siguientes implicaciones:

- a) La persistencia, a lo largo del proceso educativo, de los preconceptos sobre mecánica, ha de ser más alta que en otros campos.
- b) Se ha de dar una mayor "seguridad" o confianza en las respuestas erróneas cuando estas se refieran a cuestiones sobre mecánica.

A continuación pasamos a exponer el diseño experimental que hemos elaborado para comprobar dichas implicaciones:

Para contrastar la existencia de diferencias importantes entre los preconceptos asociados a experiencias de mecánica y a otros campos, se ha utilizado un cuestionario de opción múltiple, con cuestiones asociadas a la comisión de algunos de los errores conceptuales con los que estamos trabajando. Para ello hemos escogido tres cuestiones sobre mecánica y dos cuestiones sobre Química, (CUESTIONARIO II), (página 60). El carácter básico de las cuestiones nos ha permitido seguir la evolución de los resultados a través de todo el proceso educativo.

Para averiguar el grado de confianza del alumno en cada una de sus respuestas, se le pide que califique con una nota entre cero y diez la seguridad que él tiene sobre la validez de la misma. (cero para mínima seguridad y diez para máxima seguridad). Con el fin de evitar al máximo las respuestas aleatorias, no se dió en ningún caso tiempo límite para la cumplimentación del cuestionario, incluyéndose para cada ítem la opción "no lo sé".

El cuestionario se ha pasado a un total de 1004 estudiantes, desde séptimo de E.G.B. (curso en donde se estudia el movimiento mecánico por primera vez), hasta segundo de Químicas, (curso de esta carrera en donde se daba mecánica por última vez). Hemos de precisar que el cuestionario se pasó en 7º de E.G.B. nada más comenzar el curso, es decir, antes de que los alumnos tuviesen ningún tipo de conocimiento académico sobre los temas tratados, de modo que los resultados en este caso, corresponden a alumnos todavía no sometidos a enseñanza escolar, pero que en nuestra opinión, ya deben poseer ideas bien definidas sobre las cuestiones que se les presentan. Ello nos permite seguir fácilmente la evolución de los preconceptos y del grado de confianza en la validez de los mismos, analizando la influencia que los sucesivos cursos de ciencias tienen sobre ambos factores.

Concretamente, los índices han sido calculados de la siguiente forma:

- 1º) Porcentaje de respuestas erróneas en cada una de las cuestiones, sobre el total de respuestas dadas. Para seguir la evolución de la persistencia de los preconceptos.
- 2º) El porcentaje de respuestas erróneas seguras, (entendiendo por respuesta segura la que se califica con una nota igual o superior a ocho) calculado sobre el total de respuestas erróneas. Este índice permite conocer en qué cuestiones las respuestas erróneas se dan sin dudas, con gran confianza, mostrando así la existencia de verdaderas barreras epistemológicas.

Según nuestras hipótesis, cabe esperar valores más altos en ambos índices, en las cuestiones de mecánica y sobre todo una disminución de estos mucho más lenta o atenuada, que para las cuestiones de Química, dado que es en mecánica, repetimos, en donde esperamos encontrar preconceptos más difícilmente modificables.

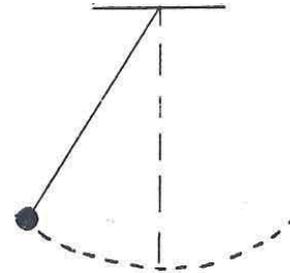
CUESTIONARIO I

Errores conceptuales en dos conceptos claves de la mecánica.

1ª Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuanto tiempo tardará otro de doble masa que se deja caer desde la misma altura?

2ª Las observaciones más comunes muestran que para que un objeto permanezca en movimiento, es necesario que esté actuando una fuerza sobre él, de forma que si cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones deben interpretarse correctamente diciendo que las fuerzas son la causa de

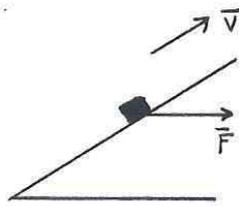
3ª En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar subrayando donde corresponda, si el periodo (tiempo que tarda en dar una oscilación) depende o no de cada uno de los siguientes factores:



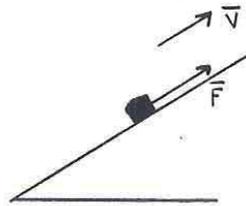
- a) La longitud del hilo: Sí depende / No depende / No sé
- b) La masa del cuerpo: Sí depende / No depende / No sé
- c) La gravedad "g": Sí depende / No depende / No sé

sigue

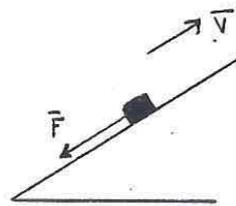
4ª Se lanza un cuerpo hacia arriba por un plano inclinado, de forma que una vez lanzado sigue ascendiendo. Indicar, señalando con una cruz donde corresponda, cual de los tres esquemas siguientes representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo mientras este asciende.



a)



b)



c)

d) No sé

5ª Se lanza un objeto verticalmente hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de seis metros. ¿Qué altura alcanzará otro objeto cuya masa es la mitad que la del primero, lanzado con la misma velocidad?

6ª Señalar verdadero, falso o no lo sé en cada una de las siguientes proposiciones:

a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza (o si la fuerza resultante es nula), deberá de estar en reposo.

b) El movimiento de un cuerpo, siempre tiene lugar en la misma dirección de la fuerza resultante.

c) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante que actúa sobre el mismo en dicho instante también lo será.

AMPLIACION CUESTIONARIO I

Errores conceptuales en distintos dominios de Física y Química.

1ª) Un satélite artificial gira con movimiento uniforme alrededor de la tierra, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (elegir una sola respuesta)

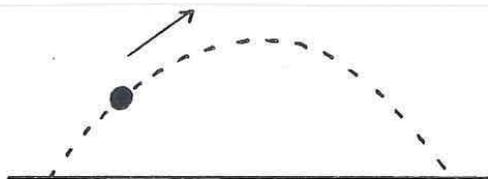
- a) La fuerza de atracción gravitatoria.
- b) La gravitatoria y la centrífuga.
- c) La gravitatoria y la centrípeta.
- d) La gravitatoria, la centrífuga y la centrípeta.
- e) Otra respuesta (especificar)...
- f) No lo sé.

2ª) Un objeto de masa m circula con una velocidad de 5 m/s. Otro B, de masa $(3/4)m$, circula con una velocidad de 6 m/s. ¿Cual de los dos posee más fuerza?

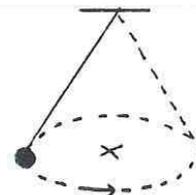
- a) El A.
- b) El B
- c) Otra respuesta (especificar)...
- d) No lo sé.

sigue

- 3a) Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera, y su resultante. (La flecha indica en cada caso la dirección del movimiento en el instante representado y el rozamiento es nulo).



Tiro oblicuo



Péndulo
cónico.

- 4a) Un sistema está constituido por un objeto de masa m y la tierra M . En este caso podemos asegurar que: (señalar con una cruz la respuesta correcta)

- a) Sólo el cuerpo de masa m posee energía potencial gravitatoria
- b) La energía potencial del cuerpo es mayor que la de la tierra.
- c) La energía potencial de la tierra es mayor que la del cuerpo
- d) Otra respuesta (especificar)...

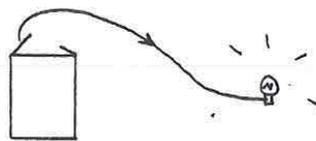
- 5a) Señalar por medio de una cruz cual es la afirmación más correcta:

- a) De nuestros ojos sale luz que llega a los objetos haciéndonos notar su presencia.
- b) Para poder ver un objeto, es necesario que éste difunda la luz que recibe (del sol, bombilla etc), en todas direcciones.
- c) Podemos ver los objetos gracias a que su imagen es transportada hasta nuestros ojos por la luz que reflejan.

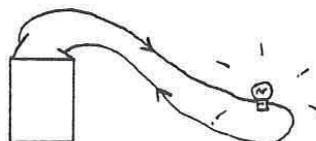
sigue

6a) Señalar cuál de las situaciones siguientes describe correctamente lo que le ocurre a la corriente eléctrica:

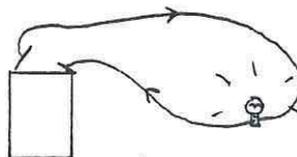
a) La corriente sale de un polo de la pila y se consume en la bombilla.



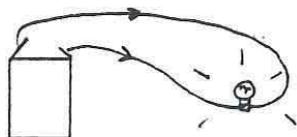
b) Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



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



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



7a) Al calentar el sólido NH_4Cl , se descompone en los gases HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanzará un estado de equilibrio, según la ecuación:



Señala con una cruz, cual de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración del sólido NH_4Cl :

a) Aumentar la presión.

b) Extraer NH_3 del recipiente

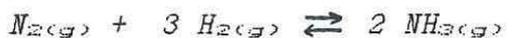
c) Disminuir la presión.

d) Otra respuesta. (especificar)...

e) No lo sé.

sigue

8ª Una mezcla de $N_2(g)$, $H_2(g)$ y $NH_3(g)$ está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación :



La mezcla en equilibrio contiene: 1.3 moles de NH_3 .

0.1 moles de N_2 .

0.3 moles de H_2 .

Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio K_c , para dicha reacción. Elige cual de las siguientes respuestas te parece correcta:

a) $K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$

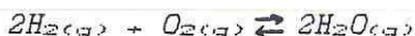
b) $K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$

c) Otra respuesta...

d) No lo sé.

sigue

- 9a) Cuando representamos la reacción entre hidrógeno y oxígeno gaseosos por medio de la ecuación química:

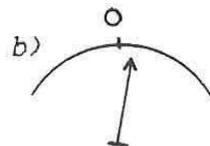
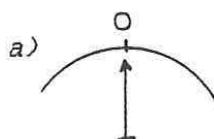
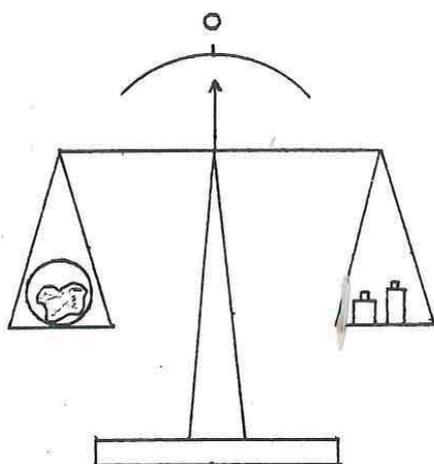


Dicha ecuación nos indica que: (Señalar cierto o falso en cada caso)

- a) Inicialmente había dos moles de moléculas de hidrógeno y una mol de moléculas de oxígeno, y al reaccionar se han transformado en dos moles de moléculas de agua.
 - b) Cada dos gramos de hidrógeno que reaccionan, lo hacen con un gramo de oxígeno dando dos gramos de agua.
 - d) Otra respuesta...
 - e) No lo sé.
- 10a) Según el modelo atómico de Bohr, el ión H^+ consiste en:
señalar la respuesta correcta)
- a) El núcleo del átomo de hidrógeno y una órbita vacía.
 - b) El núcleo del átomo de hidrógeno únicamente.
 - c) El núcleo del átomo de hidrógeno y varias órbitas vacías.
 - d) No lo sé.

sigue

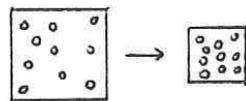
11ª) En la balanza adjunta hay una esfera de vidrio cerrada con una bola de papel dentro. En el platillo de la derecha se han colocado pesas hasta que se alcanza el equilibrio. Por medio de una lupa se hace arder totalmente el papel. Señalar cual de los esquemas indica correctamente lo que marcará el fiel de la balanza:



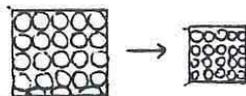
d) No sé

12ª) Una de las propiedades más conocidas del aire es su compresibilidad (facilidad con que su volumen disminuye al aumentar la presión como puede comprobarse fácilmente con una jeringuilla). Indicar cual de los esquemas siguientes interpreta adecuadamente esta propiedad:

a) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen.



b) Al presionar, las partículas se comprimen reduciéndose así su tamaño.



c) No lo sé.

CUESTIONARIO II. Diferencias entre preconceptos.

Se ruega la cumplimentación de este cuestionario utilizando todo el tiempo que sea necesario y haciendo las aclaraciones que se consideren oportunas. Indicad en cada cuestión el grado de seguridad que se tiene en la la respuesta dada (utilizando una escala entre 0 y 10).

1ª Se lanza una piedra verticalmente hacia arriba desde tierra. Considerando nulo el rozamiento con el aire, señalar con una cruz cual de los esquemas representa correctamente las fuerzas sobre la piedra poco antes de que esta alcance su máxima altura.



a)



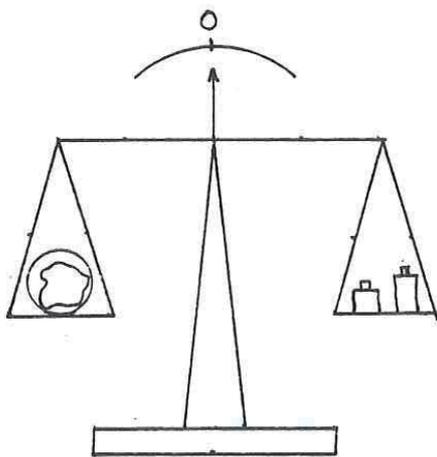
b)

c) otra respuesta
(especificar)

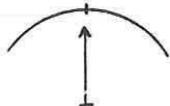
d) no lo sé

seguridad:

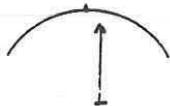
2ª En el platillo de la izquierda hay una esfera de vidrio cerrada, con una bola de papel dentro. En el platillo de la derecha se han colocado pesas para equilibrar la balanza. Con una lupa se hace arder totalmente el papel. Señalar cual de los esquemas indica correctamente lo que marcará el fiel de la balanza.



a)



b)



c) otra respuesta
(especificar)

d) no lo sé

seguridad:

sigue

3a) Un objeto lanzado verticalmente desde el suelo hacia arriba, alcanza una altura máxima de 6 m. Considerando despreciable la fuerza de rozamiento con el aire, ¿que altura máxima alcanzará otro cuerpo lanzado con la misma velocidad, si su masa es la mitad que la del primero?

seguridad:

- a) 6 m b) 12 m c) otra respuesta d) no lo sé
(especificarla)

4a) Indicad verdadero o falso en la siguiente proposición: "El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante".

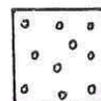
seguridad:

- a) verdadero b) falso d) no lo sé

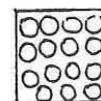
5a) Una de las propiedades más conocidas del aire, es su compresibilidad (facilidad con la que su volumen disminuye al aumentar la presión, como puede comprobarse fácilmente con una jeringuilla). Indicad cual de los esquemas siguientes interpreta adecuadamente esta propiedad.

seguridad:

a) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen.



b) Al presionar, las partículas se comprimen reduciéndose así su tamaño.



c) Otra respuesta (especificar)....

d) no lo sé.

3-3 Diseño para contrastar que en la enseñanza habitual de la Física y Química, no se tiene en cuenta en general la existencia de errores conceptuales cometidos por los alumnos.

Para contrastar la ausencia de atención hacia los preconceptos de los alumnos en la enseñanza habitual de la Física y Química, hemos recurrido por una parte al análisis de los textos más utilizados y por otra al de los exámenes de la asignatura en distintos niveles, tanto los elaborados por el profesorado como los propuestos en diferentes pruebas oficiales.

En primer lugar y centrandonos en los problemas ya anteriormente señalados -concepto de fuerza, caída de graves, conservación de la masa, naturaleza y comportamiento de los gases- pensamos buscar en cada uno de los textos los siguientes puntos concretos:

- 1º) *Averiguar si al abordar el estudio de un tema o la introducción de un concepto dado se propone alguna actividad en donde se conduzca al alumno a mostrar (directa o indirectamente) las ideas que ya tiene.*

Ejemplos de cuestiones que pueden ser utilizadas para este fin, son las incluidas en el CUESTIONARIO I (pág 52) y por supuesto cualesquiera de la colección que constituye el Anexo II de esta tesis.

- 2º) *¿Se hace en el texto alguna breve referencia histórica sobre los problemas citados, que pueda utilizarse para llamar la atención sobre los errores conceptuales que es posible cometer?*

Ya hemos comentado anteriormente el paralelismo existente entre el desarrollo del pensamiento de los niños y sus ideas, con la evolución histórica de ciertos conceptos científicos -hecho este, de especial relevancia en el dominio de la mecánica- Una breve revisión histórica en donde se muestren las ideas existentes sobre algunos conceptos y sus cambios posteriores más o menos profundos, puede pues ayudar a una mejor

comprensión acerca de los mismos, con este fin pueden utilizarse por ejemplo, fragmentos de algunas memorias científicas de la época etc.

3º) *¿Se hace en el texto, o se le pide al alumno, algún análisis crítico de lo que nos dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos escogidos?*

A continuación para clarificar este punto proponemos a modo de ejemplo una actividad extraída de un libro de 2º de B.U.P. (Beltrán et al, 1984):

"Según la mecánica escolástica y también aparentemente según el sentido común, para que un cuerpo permanezca en movimiento ha de estar actuando una fuerza sobre el mismo. Criticar esta proposición, enunciando otra más válida que la sustituya".

4º) *¿Se incluye al final del tema problemas o cuestiones diseñados de forma que permitan detectar la persistencia de errores conceptuales que la enseñanza impartida debería haber eliminado?*

De nuevo pueden utilizarse para ello cuestiones como las elaboradas para averiguar los conocimientos previos de los alumnos (ver Anexo II), aunque, naturalmente, no las mismas.

Queda por último comentar algunos aspectos sobre cómo proceder a la realización del análisis de los textos. En primer lugar el número de textos a analizar. A este respecto hemos abarcado todos los cursos desde 7º de E.G.B. hasta C.O.U. escogiendo un mínimo de diez ejemplares en cada uno de dichos cursos, de entre los más utilizados, número que, viene a cubrir más del 80% de la población estudiantil. De hecho este número es muy superior al utilizado para otros trabajos similares (Renner y Grant, 1978). En cuanto al procedimiento a seguir ha consistido en averiguar si se incluyen o no los cuatro aspectos anteriormente citados en cada uno de los casos. La razón de limitar el análisis a un estudio cuantitativo de ausencia/presencia estriba en la propia hipótesis de partida. Según esta esperamos encontrar una muy escasa atención a los preconceptos de los

alumnos y por ello hemos adoptado un criterio muy amplio -desfavorable para nuestra hipótesis- aceptando como buena cualquier mención a los aspectos citados. Sólo en la medida en que la hipótesis resultase falsada y nos encontráramos con un tratamiento apreciable de los preconceptos, tendría sentido entrar en un análisis cualitativo del tipo de tratamiento realizado. Pero si la hipótesis resulta verificada, el verdadero dato cualitativo de interés es la ausencia misma de tratamiento.

Para terminar, señalaremos que el análisis se ha realizado independientemente por dos investigadores (como es habitual en estudios de este tipo) dándose una coincidencia prácticamente total en los resultados. El diseño elaborado queda plasmado en el (CUESTIONARIO III) (pág 66)

En segundo lugar, hemos procedido al análisis de las formas y contenidos de los propios exámenes, en especial de los exámenes oficiales, que en definitiva son los que más orientan al profesorado sobre las directrices a seguir y, en la mayoría de los casos condicionan la forma de enseñanza obligando al profesorado a preparar a sus alumnos para la superación de unas pruebas determinadas (Hoyat, 1962). Concretamente, el objeto del análisis es averiguar el grado de importancia que se concede en los exámenes a los preconceptos de los alumnos. Para ello hemos diseñado el CUESTIONARIO IV (pág 67) cuyas cuestiones comentamos a continuación:

1ª) *¿Hay actividades de algún tipo, en donde de forma explícita o implícita, puedan ponerse de manifiesto la persistencia o no de conocidos preconceptos?*

Se pretende ver -de forma similar a como se propuso para los libros de texto- si se incluyen en los exámenes preguntas, problemas, cuestiones sobre experiencias de laboratorio, etc, cuya resolución pueda mostrar la posible persistencia de preconceptos entre los alumnos.

2ª) *¿Se plantea alguna actividad de manipulación de conceptos en la que se pida el significado físico de definiciones, magnitudes, expresiones operativas etc?*

Respecto a esta segunda cuestión, el objetivo principal de la misma es averiguar en qué medida se hace hincapié en el significado físico de conceptos, constantes, unidades, etc, y se huye de planteamientos basados en el puro operativismo.

El CUESTIONARIO IV, se ha aplicado a problemas y cuestiones de los exámenes oficiales que se realizaron para la obtención del grado elemental entre 1962 y 1968 (Ministerio de Educación y Ciencia, 1968), a exámenes de Preuniversitario (Ministerio de Educación y Ciencia, 1967); (Lopez, 1964). Pruebas de Acceso a la Universidad (Mendez, 1981); (Alonso y Paniagua, 1984); (Cambra 1982) y, por supuesto, exámenes propuestos por profesores de enseñanza media en los actuales BUP y COU intentando ver también si ha habido alguna evolución. Según nuestra hipótesis esperamos encontrar unas pruebas de evaluación centradas casi exclusivamente en los contenidos de acuerdo con el modelo de enseñanza/aprendizaje basado en la transmisión/asimilación de conocimientos ya elaborados (Gíl, 1983).

CUESTIONARIO III. Análisis de textos.

1º) *Averiguar si al abordar el estudio de un tema o la introducción de un concepto dado se propone alguna actividad en donde se conduzca al alumno a mostrar (directa o indirectamente) las ideas que ya tiene.*

SI (ver pág)

NO (ver pág)

2º) *¿Se hace en el texto alguna breve referencia histórica sobre los problemas citados, que pueda utilizarse para llamar la atención sobre los errores conceptuales que es posible cometer?*

SI (ver pág)

NO (ver pág)

3º) *¿Se hace en el texto, o se le pide al alumno, algún análisis crítico de lo que nos dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos escogidos?*

SI (ver pág)

NO (ver pág)

4º) *¿Se incluye al final del tema problemas o cuestiones diseñados de forma que permitan detectar la persistencia de errores conceptuales que la enseñanza impartida debería haber eliminado?*

SI (ver pág)

NO (ver pág)

CUESTIONARIO IV. Análisis de exámenes.

1a) ¿Hay actividades de algún tipo, en donde de forma explícita o implícita, puedan ponerse de manifiesto la persistencia o no de conocidos preconceptos?

2a) ¿Se plantea alguna actividad de manipulación de conceptos en la que se pida el significado físico de definiciones, magnitudes, expresiones operativas etc?

3-4 Diseño para contrastar que los errores conceptuales se hallan íntimamente asociados con la "metodología de la superficialidad"

Como ya se comentó anteriormente, se trata esta de una hipótesis fundamental que supone una innovación en relación a otros trabajos sobre el mismo tema. En efecto, hemos intentado fundamentar en el segundo capítulo que la metodología de la superficialidad está directamente relacionada con la génesis y consolidación de los preconceptos y esquemas conceptuales de los alumnos, y se trata de contrastar aquí hasta qué punto está difundida esta forma de actuar entre alumnos, y profesores.

Para contrastar experimentalmente la hipótesis hemos preparado dos cuestionarios (CUESTIONARIO V) y (CUESTIONARIO VI) que reproducimos íntegros en las páginas (77) y (79) respectivamente.

Una vez elaborados los dos cuestionarios V y VI, se procedió a realizar un ensayo piloto con varios grupos de alumnos para asegurarnos de que no existían diferencias significativas entre los resultados obtenidos con ambos cuestionarios, y que por lo tanto podrían ser utilizados indistintamente como pre-test o post-test.

La idea consiste en pasar los cuestionarios a alumnos de enseñanza media, profesores en formación, (alumnos del primer ciclo del Curso de Aptitud Pedagógica) y a profesores de enseñanza media en activo especialidad Física y Química, para medir la influencia de la metodología de la superficialidad en estos colectivos. Con este fin se ha procedido a:

- a) Medir los tiempos medios de respuesta a uno de los cuestionarios (V) o (VI), así como la inclusión o no de explicaciones o comentarios (a lo cual se invitaría en los mismos explícitamente). De acuerdo con nuestra hipótesis, cabe esperar brevísimos tiempos medios de respuesta y la práctica ausencia de comentarios. Los tiempos medios de respuesta para cada grupo son calculados mediante la expresión: $t_m = (n_i \times t_i) / n$, en donde n_i representa el número de alumnos que han entregado el cuestionario durante el minuto t_i

contado a partir del instante en que comenzó la prueba, y n sería el número de alumnos del grupo encuestado. Es necesario insistir que en ninguna de las pruebas realizadas se ha dado un tiempo límite para su contestación, aunque a pesar de ello y por causa de la metodología de la superficialidad, nos temiamos unos tiempos de resolución muy breves.

- b) Medir los porcentajes de error y los tiempos medios de respuesta para uno de los cuestionarios (V) o (VI), pero advirtiendo previamente sobre la facilidad de incurrir en error, y a continuación comparar los resultados con los obtenidos cuando no se realiza esta advertencia.
- c) Explicar, despues de pasar uno de los cuestionarios (que actuaría como pre-test), las respuestas correctas con todo detalle, mostrando dónde están los errores y la facilidad con que se cometen. Dos meses después, pasar a los mismos alumnos el otro cuestionario (que actuaría como post-test) y comparar los resultados.

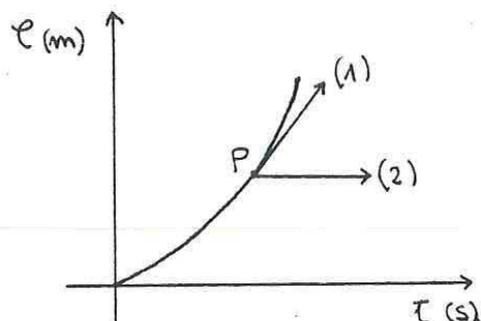
Nuestra hipótesis prevee la ausencia de diferencias significativas por el hecho de advertir o nó sobre la dificultad de las cuestiones o de dar explicaciones detalladas entre el primer y segundo pase de cuestionarios. En efecto, ya hemos señalado que la metodología de la superficialidad no puede interpretarse como simple inatención del alumno, sino como una tendencia sumamente arraigada -y por lo tanto difícil de cambiar- a aceptar las "evidencias de sentido común".

Presentaremos a continuación las cuestiones seleccionadas comentandolas brevemente.

El CUESTIONARIO V está formado por las siguientes cuestiones:

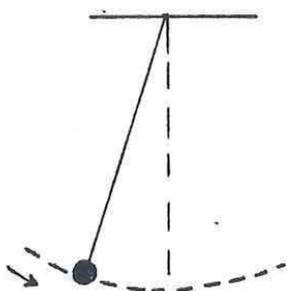
1a) En la gráfica adjunta $e = f(t)$, la dirección del vector velocidad en P, puede venir representada por:

- a) Por el vector (1).
 - b) Por el vector (2).
 - c) No lo sé
 - d) Otra respuesta (especificar)...
-



Como puede observarse, se trata de una cuestión en torno a la confusión habitual entre la gráfica $e=f(t)$ y la trayectoria seguida por el móvil. Los alumnos se equivocan a menudo identificando las gráficas de la posición frente al tiempo y también incluso las de rapidez frente al tiempo, con la trayectoria descrita. Sin embargo no parece que la cuestión tenga relación en este caso con algún preconcepción difícil de erradicar. En nuestra opinión, se trata de una equivocación fundamentalmente metodológica, el alumno está habituado a contestar rápidamente, sin una reflexión previa.

2a) Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera, y su resultante. (La flecha indica la dirección del movimiento en el instante representado. El rozamiento es nulo).



Péndulo simple



Cuerpo que ha sido lanzado por un plano horizontal.

3ª) Un objeto de masa m circula con una velocidad de 5 m/s. Otro B, de masa $(3/4)m$, circula con una velocidad de 6 m/s. ¿Cual de los dos posee más fuerza?

a) El A.

b) El B

c) Otra respuesta (especificar)...

d) No lo sé.

Las dos cuestiones anteriores tratan sobre el concepto de fuerza (asociación fuerza-velocidad). En la cuestión 2ª, la idea de fuerza como causa del movimiento llevaría a dibujar para el caso del cuerpo lanzado por un plano horizontal, una fuerza hacia la derecha. En la cuestión 3ª, lógicamente la respuesta correcta consistiría en explicar que los objetos no "poseen" fuerza en ningún caso.

4ª Una mezcla de $N_{2(g)}$, $H_{2(g)}$ y $NH_{3(g)}$ está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación :



La mezcla en equilibrio contiene: 1.3 moles de NH_3 .

0.1 moles de N_2 .

0.3 moles de H_2 .

Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio K_c , para dicha reacción. Elige cual de las siguientes respuestas te parece correcta:

a) $K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$

b) $K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$

c) Otra respuesta...

d) No lo sé.

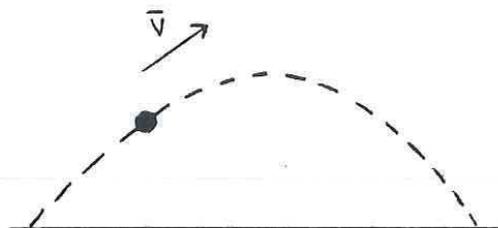
Esta cuestión de Química, está relacionada con la confusión existente entre los conceptos de "cantidad de sustancia" y "concentración". Además permite sobre todo, poner en evidencia el "operativismo mecánico" consistente en proceder a meras sustituciones de datos en fórmulas, sin una seria reflexión previa, sin analizar los resultados, etc. Este operativismo se pone de manifiesto no sólo en la forma con que los alumnos abordan y resuelven los problemas, sino también en la propia didáctica de los mismos (Gíl y Martínez Torregrosa, 1984), y constituye un rasgo característico de la metodología de la superficialidad.

El Cuestionario VI por su parte, está formado por las siguientes cuestiones:

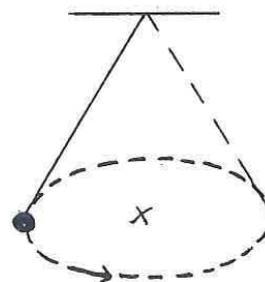
1ª) *Un satélite artificial gira con movimiento uniforme alrededor de la tierra, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (elegir una sola respuesta)*

- a) *La fuerza de atracción gravitatoria.*
- b) *La gravitatoria y la centrífuga.*
- c) *La gravitatoria y la centrípeta.*
- d) *La gravitatoria, la centrífuga y la centrípeta.*
- e) *Otra respuesta (especificar)...*
- f) *No lo sé.*

2ª) *Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera, y su resultante. (La flecha indica en cada caso la dirección del movimiento en el instante representado y el rozamiento es nulo).*



Tiro oblicuo



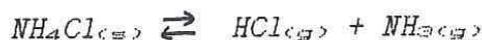
Péndulo cónico.

3a) Señalar verdadero (V) o falso (F) en cada una de las siguientes proposiciones:

- a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, deberá de estar en reposo.
- b) El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- c) Si en un instante dado, la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese mismo instante, también lo será.

Las tres cuestiones anteriores se refieren de nuevo al concepto de fuerza. En la primera puede ponerse de manifiesto no sólo la existencia del preconcepto de asociar fuerza/movimiento que lleva a pensar que la fuerza de atracción gravitatoria sobre el satélite ha de verse necesariamente compensada por otra igual y de sentido contrario (la centrífuga) cuyo papel es impedir que caiga hacia la tierra, sino también la consideración de la fuerza centrípeta como una clase de fuerza especial distinta a la gravitatoria. En cuanto a la segunda cuestión, es evidente que el preconcepto de fuerza llevaría a dibujar una fuerza en el mismo sentido que el movimiento. La tercera, ya ha sido comentada anteriormente. La persistencia de la asociación fuerza/movimiento llevaría a contestar verdaderas las tres proposiciones.

4a) Al calentar el sólido NH_4Cl , se descompone en los gases HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanzará un estado de equilibrio, según la ecuación:



Señala con una cruz, cual de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración del sólido NH_4Cl :

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) Disminuir la presión.
- d) Otra respuesta (especificar)...
- e) No lo sé.

Esta última cuestión, es similar a la cuestión de Química del cuestionario anterior (V), y pueden hacerse idénticas consideraciones a las allí efectuadas. Se trata de una cuestión que de nuevo permite poner en evidencia el operativismo mecánico, a pesar de que en este caso el enunciado llama tres veces la atención sobre el estado sólido del cloruro de amonio, lo que excluye evidentemente variaciones de concentración.

Una de las consecuencias más importantes del operativismo mecánico, alentada en muchos casos por la didáctica habitual, consiste precisamente en la fuerte tendencia a contestar rápidamente sustituyendo los datos en fórmulas donde aparezcan también las incógnitas para proceder inmediatamente a despejar estas últimas. Para mostrar hasta qué punto este mismo comportamiento puede afectar al propio profesorado, hemos utilizado la siguiente cuestión a pasar entre profesores de Física y Química (Gíl, 1982):

*Un objeto se desplaza a lo largo de su trayectoria según la ecuación:
 $e = 25 + 40t - 5t^2$ m (si t en s). Hallar la distancia total recorrida por el móvil al cabo de cinco segundos.*

Como es obvio, en la cuestión, la "e", indica simplemente la posición del móvil sobre la trayectoria. Un resultado como $e = 100$ m, lo único que nos indica es que el móvil a los cinco segundos se encuentra a 100 m del origen, pero no, evidentemente, que haya recorrido un total de 100 m. Para ello basta darse cuenta de que en el instante inicial se encontraba en la posición dada por $e = 25$ m. No obstante la respuesta $\Delta e = 75$ m, sería igualmente incorrecta, ya que para que Δe coincida con la distancia total recorrida tendría que suceder que el móvil se hubiese desplazado en el mismo sentido durante todo el tiempo, cosa que, como fácilmente puede

comprobarse, no ocurre en este caso. Ambos resultados erróneos provienen pues, de la tendencia a sustituir rápidamente los datos en fórmulas.

Podría argumentarse por algunos, que se trata de un ejemplo excesivamente rebuscado, de una simple cuestión de "pega". Sin embargo es fácil rebatir este argumento simplemente dándole la vuelta. En efecto: El verdadero problema, es que con frecuencia se utilizan ejemplos favorecedores de la confusión y de la fijación de ideas erróneas. A este respecto hemos de resaltar que la inmensa mayoría de los problemas sobre móviles toman como sistema de referencia el punto y el instante de donde "arrancó" el móvil, lo que hace coincidir el espacio "e", con el desplazamiento neto sobre la trayectoria " Δe ". Si además se proponen siempre movimientos en un solo sentido, resultará que Δe siempre coincidirá con la distancia total recorrida. Así ocurriría si por ejemplo, hubiesemos propuesto la ecuación $e = 40t + 5t^2$ donde la simple sustitución de la t por 5 , hubiese dado un resultado correcto, aunque a pesar de ello, creemos que el problema estaría igualmente mal resuelto. No es pues de extrañar, que en estas condiciones y a tenor de nuestra hipótesis, el número de errores cometidos en esta cuestión, incluso por profesores, fuese realmente elevado.

Otra de las consecuencias de la metodología de la superficialidad es que, en ocasiones basta cambiar el enunciado de una cuestión sin alterar lo más mínimo la naturaleza de la misma, para que se vuelvan a cometer errores conceptuales que parecían ya superados. Así por ejemplo, una cuestión donde muy pocos alumnos universitarios de ciencias se equivocarían sería la siguiente:

Una persona va en un tren que se mueve con velocidad constante. En un momento determinado esta persona salta verticalmente hacia arriba. Indicar donde caerá:

- a) *Delante de donde saltó.*
- b) *Detrás de donde saltó.*
- c) *En el mismo sitio de donde saltó.*

Se trata en efecto, de una cuestión en donde la idea de fuerza como causa del movimiento combinada con la de que mientras el objeto está en el aire no hay nada que le siga empujando (cosa esta última que evidentemente es cierta), lleva a contestar que la persona caería detrás de donde saltó. No obstante se trata de una cuestión tan manida, que la mayor parte de los alumnos de niveles superiores ya la conocen de sobra y la comisión de error por parte de estos es, como hemos podido comprobar, bastante baja. Sin embargo, en nuestra opinión, la influencia de la metodología de la superficialidad es tan grande que bastaría desfigurar un poco el enunciado -sin alterar la naturaleza del problema implicado- para que inmediatamente se produjese un espectacular aumento en el número de errores cometidos, al no "reconocer" el alumno la cuestión. Con este propósito cambiamos el enunciado anterior por el siguiente:

La figura esquematiza a tres corredores que avanzan a la misma velocidad. El de delante, mientras corre, lanza la pelota verticalmente hacia arriba. ¿De qué factores dependerá que la pelota sea recogida por un corredor u otro?

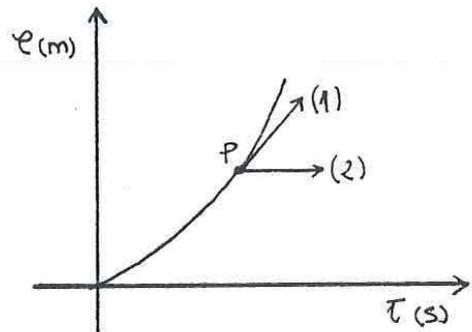


Dicha cuestión fue diseñada para pasarla a alumnos universitarios y profesores en activo y según nuestra hipótesis, esperamos encontrar altos porcentajes de error.

CUESTIONARIO V. Metodología de la superficialidad.

1a) En la gráfica adjunta $e = f(t)$, la dirección del vector velocidad en P, puede venir representada por:

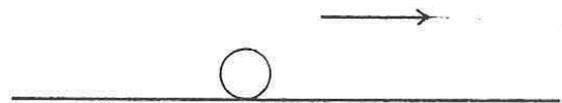
- a) Por el vector (1).
- b) Por el vector (2).
- c) No lo sé
- d) Otra respuesta (especificar)...



2a) Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera, y su resultante. (La flecha indica la dirección del movimiento en el instante representado. El rozamiento es nulo en ambos casos).



péndulo simple



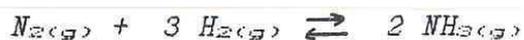
cuerpo que ha sido lanzado por un plano horizontal.

3a) Un objeto de masa m circula con una velocidad de 5 m/s . Otro B, de masa $(3/4)m$, circula con una velocidad de 6 m/s . ¿Cual de los dos posee más fuerza?

- a) El A.
- b) El B
- c) Otra respuesta (especificar)...
- d) No lo sé.

sigue

4ª Una mezcla de $N_2(g)$, $H_2(g)$ y $NH_3(g)$ está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación :



La mezcla en equilibrio contiene: 1.3 moles de NH_3 .

0.1 moles de N_2 .

0.3 moles de H_2 .

Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio K_c , para dicha reacción. Elige cual de las siguientes respuestas te parece correcta:

a) $K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$

b) $K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$

c) Otra respuesta...

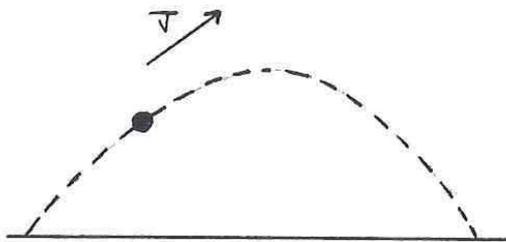
d) No lo sé.

CUESTIONARIO VI. Metodología de la superficialidad.

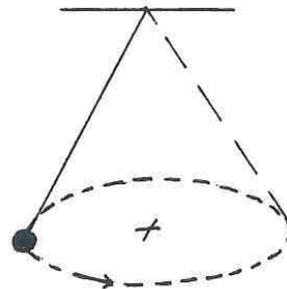
1a) Un satélite artificial gira con movimiento uniforme alrededor de la tierra, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (elegir una sola respuesta)

- a) La fuerza de atracción gravitatoria.
- b) La gravitatoria y la centrífuga.
- c) La gravitatoria y la centrípeta.
- d) La gravitatoria, la centrífuga y la centrípeta.
- e) Otra respuesta (especificar)...
- f) No lo sé.

2a) Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera, y su resultante. (La flecha indica en cada caso la dirección del movimiento en el instante representado y el rozamiento es nulo).



Tiro oblicuo



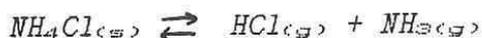
Péndulo cónico

sigue

3a) Señalar verdadero (V) o falso (F) en cada una de las siguientes proposiciones:

- a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, deberá de estar en reposo.
- b) El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- c) Si en un instante dado, la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese mismo instante, también lo será.

4a) Al calentar el sólido NH_4Cl , se descompone en los gases HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanzará un estado de equilibrio, según la ecuación:



Señala con una cruz, cual de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración del sólido NH_4Cl :

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) Disminuir la presión.
- d) Otra respuesta (especificar)...
- e) No lo sé.

3-5 Diseño para contrastar que la enseñanza habitual de la Física y Química favorece la utilización de la metodología de la superficialidad, siendo incapaz de producir progresos aceptables en la resolución del problema de los errores conceptuales.

La hipótesis anterior fué operativizada en el apartado 3-1 en dos puntos destinados a ser contrastados experimentalmente. En el primero de ellos nos referíamos a que los profesores en general, adoptan en muchos casos normas de conducta en la clase, favorecedoras de la metodología de la superficialidad entre sus alumnos.

En efecto: recientemente Kenneth (1984), ha publicado un interesante trabajo sobre la influencia del "Wait Time" en el aprendizaje del alumno. El Wait Time podría definirse como la duración del silencio que separa normalmente la emisión de dos proposiciones. Según el autor, "Si el discurso del profesor se realiza entre otras cosas para que el estudiante comprenda y adquiera una serie de conocimientos, este debe ser correctamente procesado por el alumno, y dado que dicho fenómeno es una actividad compleja, con varios pasos o secuencias, es necesario que la información se suministre a una velocidad adecuada". Para la obtención de datos empíricos, el autor utilizó varios grupos de 20 alumnos cada uno. Nos interesa destacar aquí algunas de las conclusiones que obtuvo:

- a) El número de proposiciones o definiciones que hace el profesor por unidad de tiempo, está negativamente relacionado con el aprendizaje del alumno.
- b) Existe una relación significativa entre la efectividad del discurso del profesor y la duración de las pausas o silencios entre dos proposiciones o frases completas (con sentido en sí mismas). Se ha establecido que un wait time medio de 3 a 5 segundos incrementa de manera significativa la efectividad del discurso.
- c) Los profesores que utilizan un wait time corto, tienen en general lo que se denomina un "bajo nivel de reacción", es decir, a preguntas o

dudas del alumno suelen contestar escuetamente o repitiendo miméticamente lo que ya habían dicho antes. También al valorar la respuesta de un alumno al que se le había preguntado previamente suelen hacerlo con expresiones del tipo: « si », « muy bien », « vale », etc. Por el contrario, profesores que utilizan un wait time más largo, tienden por lo general a realizar demostraciones alternativas, suministrar información adicional, etc.

- d) Se ha podido constatar también que un wait time largo produce un mayor nivel en el desarrollo del pensamiento formal en el alumno.

Los resultados anteriores, que como se ha señalado se apoyan en un notable soporte empírico, muestran la importancia de un factor, en este caso el tiempo de espera entre frase y frase del profesor, sobre el desarrollo del aprendizaje del alumno. Parece lógico pensar que los programas enciclopédicos, junto con la existencia de numerosos profesores que piensan que "es mejor que el alumno sepa un poco de todo", son hechos que no van a favorecer el uso de unos "wait time" apropiados. Sin embargo, este factor no es más que uno de los que en nuestra opinión caracterizan el comportamiento metodológico de una parte demasiado grande del profesorado. En este sentido podemos añadir cuestiones tales como:

- Realización de exámenes sin ninguna sesión previa de preparación, ni posterior de retroalimentación.
- Escasos márgenes de tiempo para la realización de los exámenes.
- No dejar tiempo suficiente para que los alumnos manejen durante las clases los nuevos conceptos que se van introduciendo.
- Preguntar con mucha mayor frecuencia a los alumnos que uno ya sabe que van a contestar bien.
- Primar las respuestas rápidas y seguras...

Se trata de comportamientos que el profesorado en general practica de una forma más o menos inconsciente influido en parte por cuestiones ajenas a él mismo, como por ejemplo programas excesivamente extensos, clases masificadas, demasiados grupos de alumnos etc, pero también y

fundamentalmente, porque en general está impregnado por el modelo de enseñanza por transmisión verbal de conocimientos ya elaborados y consecuentemente, no piensa que el alumno tiene que "construir conocimientos", sino tan solo asimilar y retener los que se expongan. Para ver hasta que punto se da este tipo de "presión" sobre los alumnos, se ha elaborado un cuestionario (CUESTIONARIO VII), (pág 84) destinado a estudiantes de B.U.P. y de C.O.U. en el que se abordan algunos de los puntos comentados (duración de los exámenes, etc).

En cuanto al segundo punto , en él se afirmaba que la importancia de la metodología de la superficialidad es tan grande que aunque la enseñanza habitual fuese planificada para eliminar los errores conceptuales, no cabría esperar unos resultados significativamente mejores, a menos que dicha metodología (con la cual -no olvidemos- los errores conceptuales están íntimamente relacionados) fuese superada. Para comprobar experimentalmente el punto anterior, se ha buscado la colaboración de algunos profesores de Física y Química de enseñanza media. A dichos profesores se les ha informado a principio de curso, sobre el problema de los errores conceptuales, destacando la importancia y gravedad del mismo e invitándoles a continuación en participar en una experiencia para determinar la influencia que puede tener en la solución del problema el hecho de que el profesor lo conozca y se proponga incidir sobre él. Todas estas consideraciones quedan reflejadas en el DOCUMENTO I, (ver pág 86), el cual distribuimos y comentamos entre los profesores que se manifestaron dispuestos a participar

Para comprobar el efecto que esta "especial atención" tendría, (dentro del marco de la enseñanza habitual) en la superación del problema de los errores conceptuales, hemos diseñado el CUESTIONARIO VIII (pág 88). Según nuestra hipótesis, la metodología de la superficialidad presente en la enseñanza habitual, hará que a pesar de que se intente incidir en los preconceptos , los resultados obtenidos al pasar el cuestionario al final de curso sigan dando elevados porcentajes de errores conceptuales sin diferir sensiblemente de los obtenidos con otros alumnos "no tratados".

CUESTIONARIO VII.

Algunos aspectos sobre metodología habitual del profesorado.

Se ruega contestar este cuestionario de forma anónima. Lee atentamente cada una de las cuestiones y subraya la opción que en tu opinión describa mejor el comportamiento del profesorado de enseñanza media, que has tenido hasta ahora. (Se trata de una valoración general).

1º) *¿Los profesores suelen dedicar los días anteriores a un examen, alguna clase destinada a revisar los conceptos más importantes, resolver posibles dudas etc?*

nunca - casi nunca - a veces - a menudo - siempre - no sé

2º) *¿Cuanto tiempo suelen dejar para realizar los exámenes?*

mucho menos del que necesito - menos del que necesito

justo el que necesito - más del que necesito

mucho más del que necesito - no lo sé.

3º) *¿Has observado si los profesores suelen anotarse las incidencias de la clase? (Tareas propuestas a los alumnos, punto en donde se terminó la clase...)*

nunca - casi nunca - a veces - a menudo - siempre - no sé.

— sigue —

— — — Cuestionario VII. (Continuación). — — —

42) *Cuando hacen una pregunta a algún alumno. ¿Suelen dejarle tiempo para pensar la respuesta?*

muy poco tiempo - poco tiempo - suficiente - mucho - no sé.

52) *La velocidad a la que suelen dar los temas es:*

muy grande - grande - moderada - lenta - muy lenta - no sé.

62) *¿Suelen dejar tiempo para que los alumnos manejen y asimilen durante la clase los nuevos conocimientos y conceptos a medida que se van introduciendo?*

mucho menos del que se necesita - menos del necesario -

justo el que se necesita - más del que se necesita -

mucho más del necesario - no sé.

DOCUMENTO I : El problema de los errores conceptuales.

Desde hace hace algunos años se viene estudiando el problema de los errores conceptuales cometidos por los alumnos en Física y Química. Se trata de un problema grave y que está siendo objeto de numerosas investigaciones como prueba el hecho de los abundantes trabajos publicados sobre el tema en las principales revistas de didáctica. Las investigaciones realizadas han permitido constatar que en muchos casos los errores conceptuales responden a la existencia de "ideas intuitivas" muy difíciles de erradicar (especialmente las referidas al área de la mecánica). A continuación se citan a modo de ejemplo unos cuantos casos:

La confusión entre la gráfica $e = f(t)$ (posición del móvil sobre la trayectoria frente al tiempo), y la trayectoria seguida por el móvil.

La idea de fuerza como causa del movimiento, que lleva a relacionar esta, con la velocidad en lugar de la aceleración, lo cual produce que muchos alumnos dibujen un vector fuerza en el mismo sentido que la velocidad del móvil, en casos en que esto es erróneo, (por ejemplo sobre la bola de un péndulo oscilando, en el instante en que pasa por la posición de equilibrio).

Pensar que el tiempo en que tarda en caer un cuerpo, guarda una proporción inversa con la masa del mismo.

La creencia de que los gases no pesan.

La confusión entre cantidad de sustancia y concentración

sigue

La idea de que los coeficientes de una ecuación química no indican proporciones sino cantidades presentes que efectivamente reaccionan.

Confusiones en torno al principio de conservación de la masa, etc.

El hecho es que tanto los libros de texto en general, como una gran parte del profesorado, ignoran la existencia de tales ideas intuitivas o preconceptos entre los alumnos y en consecuencia ni siquiera se plantean su cambio, para conseguir una disminución significativa del elevado número de errores conceptuales, que se cometen en todos los niveles educativos. El objeto de este escrito es precisamente, conectar con profesores de enseñanza media que estén dispuestos a colaborar en un trabajo de investigación sobre el tema de los errores conceptuales. La investigación consistiría esencialmente en que dichos profesores prestasen durante todo el curso una atención especial a este problema, intentando erradicar las ideas precientíficas erróneas que tengan sus alumnos, con el fin de que estos no cometan errores conceptuales. Hacia final de curso pasaríamos un cuestionario con cuestiones para detectar posibles errores conceptuales y se compararían los resultados obtenidos con los de otros profesores no advertidos.

CUESTIONARIO VIII. Metodología de la superficialidad

Se ruega cumplimentar el siguiente cuestionario. Para posibles observaciones o explicaciones puedes utilizar el reverso de las hojas.

- 1a) Cuando representamos la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno gaseosos por medio de la ecuación química:



Dicha ecuación nos indica que: (señalar cierto o falso en cada caso).

- a) En el recipiente había al principio dos moles de moléculas de hidrógeno y una mol de moléculas de oxígeno, que al reaccionar se han transformado en dos moles de moléculas de agua.
- b) Cada dos gramos de hidrógeno que reaccionan lo hacen con un gramo de oxígeno para dar dos gramos de agua.
- d) Otra respuesta (enunciarla).
- e) No lo sé.

sigue

- 2ª) Dibujar las fuerzas reales que en cada caso actúan sobre la esfera. (La flecha indica la dirección del movimiento en el instante representado). El rozamiento es nulo.



tiro oblicuo



cuerpo que ha sido lanzado por un plano horizontal.

- 3ª) Un satélite artificial gira con movimiento uniforme alrededor de la tierra, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (Señalar con una cruz la propuesta correcta).

- a) La fuerza de atracción gravitatoria.
- b) La gravitatoria y la centrífuga.
- c) La gravitatoria y la centrípeta.
- d) La gravitatoria, la centrífuga y la centrípeta.
- e) Otra respuesta (especificar).
- f) No lo sé.

- 4ª) Según el modelo atómico de Bohr el ión H^+ consiste en: (contestar cierto o falso en cada proposición)

- a) El núcleo del átomo de hidrógeno y una sola órbita vacía.
- b) El núcleo del átomo de hidrógeno únicamente.
- c) El núcleo del átomo de hidrógeno y varias órbitas vacías.
- d) Otra respuesta.
- e) No lo sé.

— Sigue —

5a) Señalar Cierto o Falso en cada una de las proposiciones:

- a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, dicho cuerpo deberá de estar en reposo.
- b) El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la misma dirección que la fuerza resultante.
- c) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese instante, también lo será.

6a) Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y se observa que tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuanto tiempo tardará otro cuerpo de doble masa que el primero, dejado caer desde la misma altura?

4-PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACION EXPERIMENTAL DE LA PRIMERA HIPOTESIS.

Seguidamente vamos a exponer los resultados concernientes a la contrastación experimental de la primera de nuestras hipótesis.

Dicha hipótesis fue operativizada en el capítulo 3 en cuatro grandes apartados y a partir de cada uno de ellos, se extrajeron toda una serie de consecuencias susceptibles de ser contrastadas experimentalmente. Antes de proceder a exponer los resultados obtenidos, queremos llamar la atención sobre el hecho de que el número de consecuencias derivadas de la primera hipótesis ha sido de catorce, las cuales se han contrastado recurriendo a diez diseños experimentales. Se trata pues, como ya comentábamos anteriormente, de una contrastación basada en un aborde múltiple que pretende así afianzar su validez a partir de la coherencia de los resultados obtenidos. Y si esta es la tendencia general en la actual investigación educativa, en nuestro caso cabe destacar que el número de consecuencias contrastables es comparativamente muy elevado.

4-1 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que los preconceptos existen realmente, sin que sea posible atribuir los errores conceptuales a respuestas dadas al azar, simples olvidos etc

Recordemos que a partir de la afirmación anterior se derivaron una serie de consecuencias concretas, destinadas a ser contrastadas experimentalmente (pág 30). Para dicha contrastación se elaboraron el CUESTIONARIO I, la AMPLIACION CUESTIONARIO I, y el CUESTIONARIO II. Comenzaremos por exponer los resultados obtenidos mediante la aplicación del CUESTIONARIO I (pág 52).

En primer lugar hemos de indicar, que este cuestionario fue pasado inicialmente en el intervalo de una semana a un total de 590 alumnos de B.U.P. y C.O.U., 145 "profesores en formación" y 140 alumnos de 2º de Químicas repartidos de la siguiente forma:

196 de 2º de B.U.P. en cuatro centros

213 de 3º de B.U.P. en cuatro centros.

181 de C.O.U. en cinco centros.

145 de Magisterio (2º curso, especialidad ciencias) en dos Escuelas Universitarias.

140 de 2º de Químicas, en una Facultad.

Se trata pues de un total de 875 encuestados (número muy superior a los mínimos exigidos en trabajos de este tipo). Para el tratamiento estadístico se ha seguido aquí, lo mismo que en el resto del trabajo, el tratamiento habitual que para estudios de esta naturaleza viene detallado en distintos manuales de estadística tales como Serramona (1980), Wayne (1981) y (Wilson et al, 1981).

A continuación se detallan los resultados obtenidos en forma de tablas y gráficas. La TABLA 1 y la Gráfica 1 (págs 93 y 94 respectivamente), se refieren al problema de la caída de graves y la TABLA 2 y Gráfica 2 (págs 95 y 96 respectivamente) al concepto de fuerza. En cada una de las tablas se detalla el curso donde se pasó el cuestionario correspondiente, número total de respuestas obtenidas en cada uno y porcentaje de error en cada una de las cuestiones (acompañado éste por la desviación típica s , entre paréntesis). Además hemos añadido dos columnas. Una, encabezada por "TODAS MAL", que recoge los porcentajes de alumnos de cada nivel educativo que contestan equivocadamente a las tres cuestiones del problema tratado. La otra, encabezada por "ALGUNA O TODAS MAL", muestra los porcentajes de alumnos que contestaron mal al menos una de las tres cuestiones. Con objeto de facilitar la interpretación de las tablas, hemos preferido repetir en la misma hoja, el contenido de cada una de las cuestiones.

TABLA 1. (Correspondiente a Cuestionario I). (Caida de graves)

% de respuestas erroneas

Curso	N	1a	2a	3a	Todas mal	Alguna o todas mal
2o B.U.P.	196	73,7 (3.1)	83,7 (2.6)	78,2 (2.9)	63,7 (3.4)	97,5 (1.1)
3o B.U.P.	213	70,4 (3.1)	82,6 (2.6)	73,7 (3.0)	55,9 (3.4)	93,4 (1.7)
C.O.U.	181	54,7 (3.7)	65,7 (3.5)	67,9 (3.5)	37,5 (3.6)	88,8 (2.3)
Magisterio	145	66,1 (3.9)	67,6 (3.9)	75,2 (3.6)	47,5 (4.1)	87,6 (2.7)
2o Química	140	39,3 (4.1)	66,4 (4.0)	50,0 (4.2)	25,0 (3.7)	79,3 (3.4)

1a Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuanto tiempo tardará otro de doble masa dejado caer desde la misma altura?

2a En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar señalando Si, No o No sé, en cada caso, si el periodo depende o no de cada uno de los siguientes factores:



a) Longitud del hilo; b) Masa del cuerpo; c) Valor de la gravedad;

3a Se lanza verticalmente hacia arriba un objeto, alcanzando una altura de 5m. ¿Qué altura alcanzará otro cuerpo lanzado con la misma velocidad, si su masa es la mitad que la del primero?

%E

100

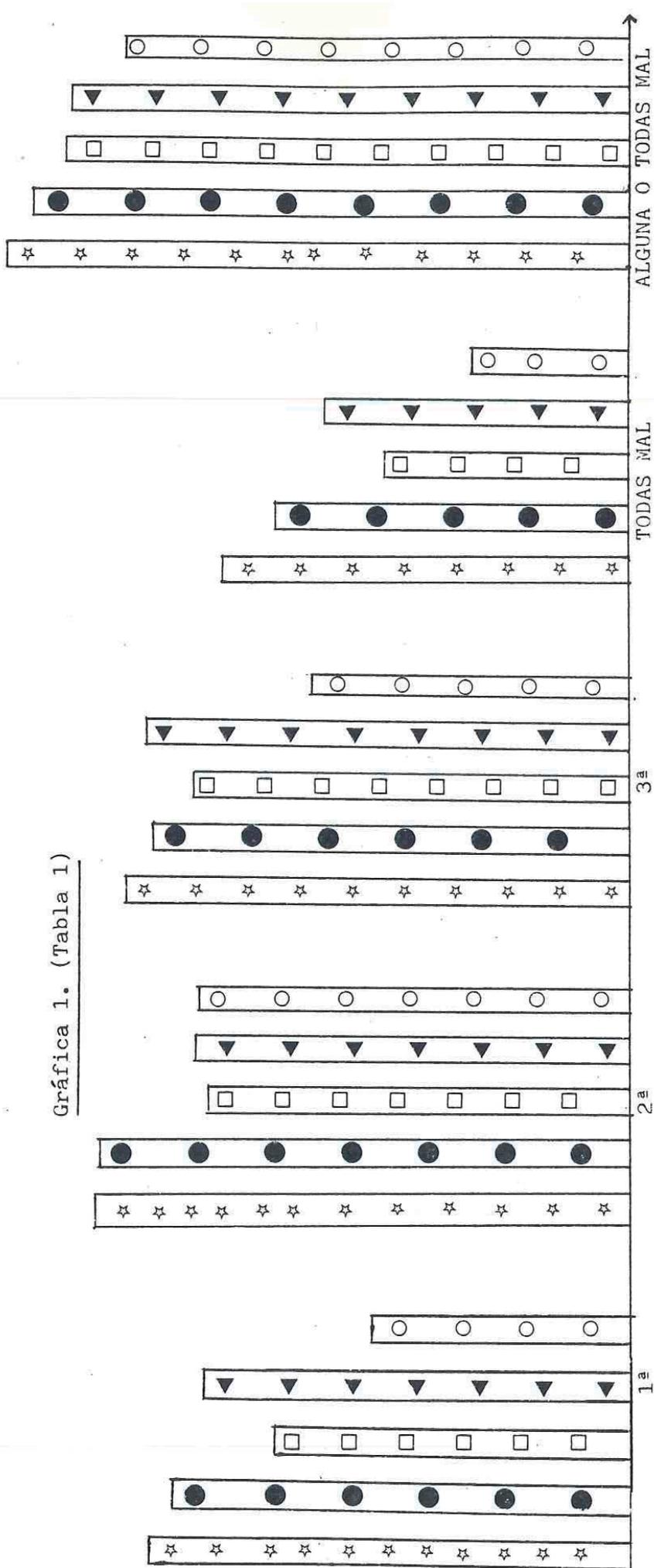
80

60

40

20

Gráfica 1. (Tabla 1)



HISTOGRAMA CORRESPONDIENTE A CAIDA DE GRAVES

2º BUP

3º BUP

COU

MAGISTERIO

2º QUIMICAS

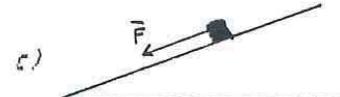
TABLA 2. (Correspondiente a Cuestionario I). (Concepto de fuerza)

% de respuestas erróneas

Curso	N	1ª	2ª	3ª	Todas mal	Alguna o todas mal
2º B.U.P.	196	86,8 (2.4)	69,7 (3.2)	98,0 (1.0)	49,5 (3.6)	100
3º B.U.P.	213	89,6 (2.1)	61,5 (3.7)	97,7 (1.0)	52,1 (3.4)	99,5 (4.8)
C.O.U.	181	79,5 (3.0)	54,7 (3.7)	89,5 (2.3)	50,3 (3.7)	97,8 (1.1)
Magisterio	145	81,4 (3.2)	71,7 (3.7)	98,7 (1.4)	60,0 (4.1)	100
2º Química	140	73,5 (3.7)	68,5 (3.9)	90,7 (2.5)	52,9 (4.2)	95,1 (1.6)

1ª Las observaciones más comunes muestran que para que un cuerpo permanezca en movimiento, es preciso que una fuerza esté actuando sobre él, de forma que se cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones se deben interpretar correctamente diciendo que las fuerzas son la causa de

2ª Un cuerpo es lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar señalando con una cruz donde corresponda, cual de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende.



3ª Señalar verdadero, falso o no sé, en cada una de las siguientes proposiciones:

- Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, deberá de estar en reposo.
- El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- Si en un instante dado, la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre dicho cuerpo en ese mismo instante también lo será.

%E

100

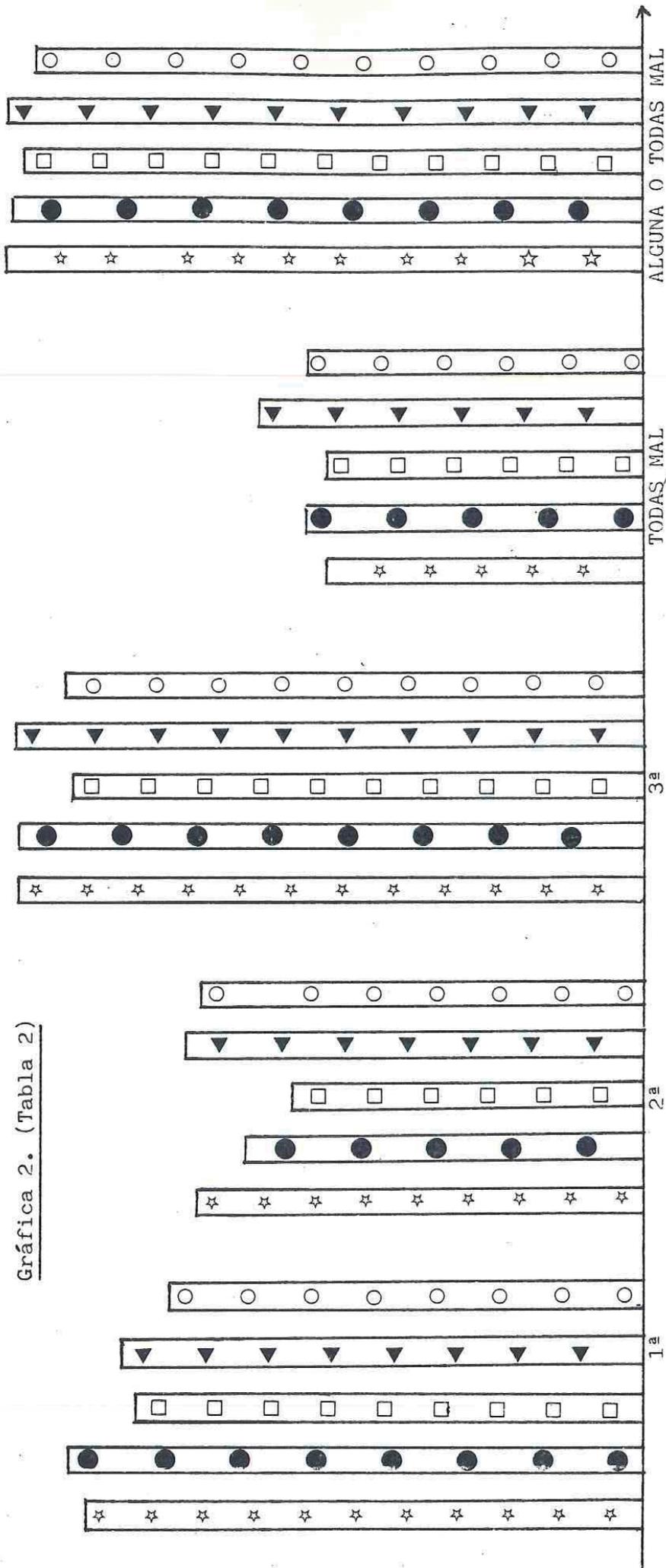
80

60

40

20

Gráfica 2. (Tabla 2)



- ☆
-
-
- ▼
-

2ª BUP
3ª BUP
COU
MAGISTERIO
2ª QUIMICAS

HISTOGRAMA CORRESPONDIENTE AL CONCEPTO DE FUERZA

A la vista de los resultados anteriores, cabe destacar, en primer lugar, los elevados porcentajes de error que afectan a todas las cuestiones, lo que constituye por sí solo un índice de la no aleatoriedad de las respuestas. Pero, además, los tipos de respuestas erróneas que se dan son esencialmente coincidentes. Así por ejemplo en la cuestión directa sobre caída de graves, la respuesta errónea más abundante en todos los niveles educativos, consiste en afirmar escuetamente "la mitad". Análogas consideraciones podemos hacer respecto al concepto de fuerza en donde la mayoría de los alumnos que contestan mal en las diversas cuestiones sobre este concepto, lo hacen porque relacionan la fuerza con la velocidad. Todo ello evidencia la existencia de preconceptos que orientan a los alumnos hacia determinados tipos de respuesta y no otros, invalidando otras explicaciones como la "de que contestan algo para salir del paso" etc (McClelland, 1984).

Recordemos también, que el pase del cuestionario se realizó en todos los casos al poco tiempo de haberse impartido en las clases la materia correspondiente en donde eran tratados los problemas lo que impide evidentemente el que se puedan atribuir los errores conceptuales a simples olvidos.

Por otra parte hemos de señalar también la gran solidez de los preconceptos implicados, que se muestra principalmente en la lenta o nula disminución del porcentaje de errores conceptuales cometidos que se observa. Así por ejemplo, podemos destacar cómo en la segunda cuestión sobre el concepto de fuerza (la del lanzamiento hacia arriba por el plano inclinado), el 69.7% de los alumnos de 2º de B.U.P. contestan erróneamente, mientras que en 2º de Químicas este porcentaje continúa siendo del 68.6%. Si calculamos la t de student de la diferencia, resulta $t = 0.22$, lo cual indica que respecto a dicha cuestión ambos grupos pueden ser considerados desde el punto de vista estadístico, como si de la misma población se tratara. Además, podemos observar que en lo que al concepto de fuerza se refiere, existe una elevada coherencia en los resultados obtenidos. En efecto, prácticamente el 50% o más de los alumnos en todos los niveles, contestan mal a las tres cuestiones sin que haya diferencias

significativas entre ellos, es decir, para este elevado porcentaje de alumnos, ni la enseñanza recibida a lo largo de todo su "historial académico", ni la que se les impartió pocos días antes de pasar el cuestionario, específicamente sobre mecánica, han conseguido cambiar mínimamente sus ideas previas sobre este concepto. Por otra parte, desde el 100% de los alumnos de 2º de B.U.P. hasta el 95% de los de 2º de Químicas, se equivocan en por lo menos una de las cuestiones. Si admitimos el carácter elemental de éstas, parece razonable pensar que el preconcepto de fuerza que lleva a asociar a la misma con el movimiento y no con el cambio de movimiento, no ha sido del todo eliminado y aflora fácilmente a la menor ocasión. Estos porcentajes resultan excesivos, maxime si tenemos en cuenta que todavía la gran mayoría del profesorado de Física y Química de enseñanza media, proviene de las Facultades de Químicas y que es precisamente en segundo curso, donde se daba mecánica por última vez, por lo que resulta grave que más del 50% de estos alumnos, no hayan adquirido en absoluto el concepto Newtoniano de fuerza. Este resultado concuerda con los obtenidos por otros autores con estudiantes de otros países. Así, Viennot (1979), realizó utilizando unas cuestiones distintas a las nuestras, una investigación sobre cuántos alumnos de ciencias en un primer curso universitario, relacionaban el concepto de fuerza con la velocidad, obteniendo que lo hacía un 54%.

Respecto a la caída de graves, puede apreciarse más claramente una cierta disminución de los porcentajes de error en cada una de las cuestiones, conforme se va progresando en el nivel educativo, excepto en Magisterio en donde son superiores a los de C.O.U. Es preciso indicar también, que a diferencia de lo que ocurre con el concepto de fuerza, aquí, si que es posible dar una contestación correcta, aun sin tener las ideas muy claras, con tan sólo aplicar fórmulas muy conocidas, que comienzan a verse ya en 7º de E.G.B. y se repiten en todos los cursos siguientes donde se da Física. Para aclarar esto reproducimos la justificación que un alumno de 2º de Químicas daba para su respuesta sobre la cuestión indirecta de caída de graves (cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba):

"6 m porque $v = (2gh)^{1/2}$, de donde $h = v^2/2g$ y aquí no interviene para nada la masa del cuerpo".

Conviene notar que pese a la similitud entre la primera y la tercera cuestiones (cuerpo que se deja caer y cuerpo que sube, respectivamente), el porcentaje de error en la tercera, es sensiblemente mayor que en la primera para cualquier nivel que se considere. Tengamos en cuenta a este respecto que los profesores abordan muy a menudo la caída de los cuerpos sin insistir apenas sobre la cuestión simétrica de la "subida". por lo que no es raro que si el preconcepto no ha sido realmente eliminado y el alumno contesta precipitadamente, vuelva a cometer un error conceptual que parecía superado. En cualquier caso, que el 39.5% los alumnos de 2º de Químicas respondan erróneamente a la cuestión directa sobre caída de graves, es un porcentaje todavía demasiado alto. Así pues los errores conceptuales no son exclusivos de los alumnos más jóvenes, sino que el mismo tipo de errores se halla presente incluso entre estudiantes universitarios, poniendo en evidencia no solo lo profundamente arraigados que pueden estar los preconceptos, sino también la ineficacia de la enseñanza habitual a través de varios años, para cambiarlos.

Otro aspecto importante, donde queda reflejada la no arbitrariedad de los preconceptos de los alumnos es, como ya comentamos en el capítulo tercero, en la elevada reproductibilidad de los resultados obtenidos al manejar las distintas cuestiones sobre errores conceptuales. Para contrastar esto se incluyeron algunas de las cuestiones manejadas en el CUESTIONARIO I, en otros cuestionarios posteriores que fueron elaborados con objetivos distintos, pasándose a alumnos de otros centros en épocas diferentes (incluso en algunos casos varios años después de pasado el CUESTIONARIO I). Se trata concretamente de las siguientes cuestiones: 1ª (cuestión directa sobre caída de graves), 3ª (cuestión de tres proposiciones sobre el concepto de fuerza) y 6ª (cuestión indirecta sobre caída de graves). A continuación exponemos en la TABLA 3, los resultados obtenidos. Para facilitar la comparación de los mismos hemos optado por designar con la letra A los cursos en donde se pasaron las cuestiones

citadas formando parte del CUESTIONARIO I, y con letras diferentes (B,C, etc), los restantes casos. Tambien se indica el año en que fue ensayada.

TABLA 3. Estabilidad de los preconceptos.

1ª *Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuanto tiempo tardará otro de doble masa que se deja caer desde la misma altura?*

<u>Curso</u>	<u>N</u>	<u>Año</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
2º B.U.P. A	196	1981	73.7	3.1
2º B.U.P. B	172	1984	71.8	3.4

C.O.U. A	181	1981	54.7	3.7
C.O.U. B	64	1984	61.0	6.1

----- sigue -----

— Tabla 3. (Continuación) —

3º Señalar verdadero, falso, o no lo sé, en cada una de las siguientes proposiciones:

a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza (o si la fuerza resultante es nula), deberá de estar en reposo.

b) El movimiento de un cuerpo, siempre tiene lugar en la misma dirección de la fuerza resultante.

c) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante que actúa sobre el mismo en dicho instante también lo será.

<u>Curso</u>		<u>N</u>	<u>Año</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
C.O.U.	A	181	1981	89.5	2.3
C.O.U.	B	64	1984	89.1	3.9
C.O.U.	C	265	1983	94.7	1.4

2º B.U.P.	A	196	1981	98.0	1.0
2º B.U.P.	B	172	1984	98.3	1.0

— sigue —

Tabla 3. (Continuación)

6º Se lanza un objeto verticalmente hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de seis metros. ¿Que altura alcanzará otro objeto cuya masa es la mitad que la del primero, lanzado con la misma velocidad?

<u>Cursa</u>		<u>N</u>	<u>Año</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
3º B.U.P. A		213	1981	73.7	3.0
3º B.U.P. B		208	1985	75.1	3.0

C.O.U.	A	181	1981	67.9	3.5
C.O.U.	D	241	1985	61.5	3.1

MAGIST.	A	145	1985	75.2	3.6
MAGIST.	B	65	1985	68.3	5.8

2º QUIM.	A	140	1985	50.0	4.2
2º QUIM.	B	92	1985	44.4	5.2

A la vista de la similitud de los resultados obtenidos, no cabe duda sobre la reproductibilidad de los mismos. Incluso poniendonos en el caso donde las diferencias son mayores (cursos de magisterio), resulta una t de Student de 1.01, lo cual implica que dichas diferencias no pueden considerarse estadísticamente significativas, ya que la probabilidad de que se deban a causas aleatorias es en todos los casos mayor del 10%. Estos resultados pues, corroboran los obtenidos inicialmente mediante el CUESTIONARIO I, a la vez que amplían la base estadística disponible, así

por ejemplo, la cuestión indirecta sobre caída de graves, sólo en 32 de B.U.P. ha sido propuesta a un total de más de 400 alumnos

Otro de los índices ya comentados, sobre la existencia real de los preconceptos, es el tipo de explicaciones que los alumnos dan a sus respuestas equivocadas, las cuales aunque provengan de cuestiones diferentes sobre un mismo concepto, muestran formas de pensar e ideas claramente definidas y de la misma naturaleza. Dichas explicaciones han sido obtenidas bien porque ellos mismos -raramente- las han escrito en las hojas del cuestionario (a lo cual se les invitaba expresamente), bien porque tras el cuestionario se realizaron entrevistas personales o discusiones colectivas con los alumnos encuestados. Hemos de destacar que en bastantes ocasiones, los alumnos de todos los niveles defendían apasionadamente sus puntos de vista, especialmente en lo que se refiere al concepto de fuerza. A continuación, reproducimos algunas frases representativas de las opiniones más frecuentes.

Respecto a la cuestión directa sobre caída de graves:

"Tardará la mitad de tiempo, porque al tener doble masa será atraído por la tierra con el doble de fuerza".

La afirmación de doble masa, doble peso, es una implicación correcta, pero la conclusión es errónea, y se debe a que el alumno está utilizando la idea de fuerza como causa del movimiento, relacionándola directamente con la velocidad.

Particularmente interesantes resultan las explicaciones dadas para la segunda cuestión del concepto de fuerza (la del plano inclinado). En ella se dan tres posibles soluciones, pero solo una es la correcta. Las dos incorrectas obedecen al mismo tipo de razonamientos. Seguidamente exponemos algunos de ellos:

"El cuerpo sube por el plano debido a que sobre él está actuando la fuerza que se le comunicó al lanzarlo. Conforme va subiendo, dicha fuerza va disminuyendo, hasta que se gasta por completo y entonces se para"

La solución en donde la fuerza resultante se ha dibujado horizontalmente, responde a un razonamiento algo más elaborado, que mezcla los conocimientos escolares con los preconceptos, y de hecho se detectó con mayor frecuencia entre los alumnos de los niveles educativos superiores. El razonamiento que acompañaba a esta elección solía ser el siguiente:

"Esta es la correcta, porque la fuerza que lleva el cuerpo se tiene que componer con el peso".

Este tipo de respuestas es interesante porque refleja cómo los preconceptos pueden coexistir con los conocimientos que los contradicen, mostrando así la "tenacidad" con que los alumnos sostienen en muchos casos, sus ideas preconcebidas. Así, no es raro encontrar explicaciones como las que, respecto a la cuestión directa sobre caída de graves, se exponen a continuación:

"Si ambos cuerpos se encuentran en el vacío tardarán igual, pero si no es así, tardará medio segundo"

"Si los dos cuerpos tienen la misma forma (volumen), tardará la mitad de tiempo el de mayor masa".

Análogos razonamientos podemos encontrar respecto al concepto de fuerza, donde para la primera cuestión, por ejemplo, tenemos:

"De la velocidad o de la aceleración, según sea un movimiento uniforme o uniformemente acelerado respectivamente".

"Al dejar de aplicar nosotros la fuerza, el cuerpo seguirá moviéndose debido a la fuerza de inercia, en la misma dirección en que lo hacía al aplicarle la fuerza inicial".

No podemos dejar de mencionar tampoco, aquellos alumnos que habiendo elegido una opción correcta, dan a continuación explicaciones que revelan no sólo la persistencia del preconcepto sino también interesantes matices sobre el mismo. Este es el caso por ejemplo del preconcepto de fuerza. Así en la cuestión : Indicar verdadero o falso para la siguiente proposición:

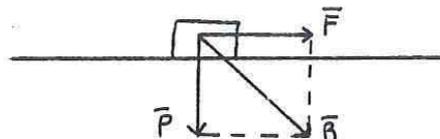
"El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante".

Al estudiar las explicaciones de los alumnos a sus respuestas en esta proposición, nos hemos encontrado con que muchos de ellos que contestan "falso" (lo cual evidentemente es correcto), a continuación lo justifican con razonamientos como el siguiente (reproducimos textualmente el de un alumno de segundo de B.U.P.):

"Falso. Así por ejemplo si yo tengo un libro sobre una mesa y presiono sobre él, éste no se mueve en la dirección de la fuerza resultante porque le estorba la mesa".

Hemos encontrado explicaciones similares a la anterior en otros cursos, incluso en tercero y C.O.U. Así por ejemplo, un alumno de C.O.U. utilizaba un esquema gráfico para justificar su rechazo de la proposición, que como puede verse, iba acompañado por un conocido error conceptual:

No ocurre siempre. Por ejemplo en el caso de un cuerpo lanzado por una superficie tenemos:

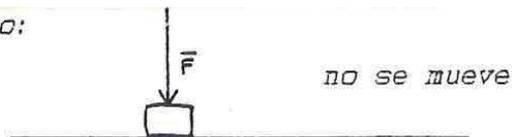


El mismo alumno, contestó también correctamente -indicando "falso"- a la tercera proposición de la misma cuestión, la cual dice:

"Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es cero, la fuerza resultante que actua sobre él en dicho instante tambien lo será".

Sin embargo ilustró su respuesta con el siguiente ejemplo:

Sobre un cuerpo en reposo en una superficie, yo puedo hacer una fuerza sobre él y seguir en reposo:



Las respuestas anteriores y tambien otras parecidas, nos muestran que para muchos alumnos (incluso de C.O.U.), los objetos inanimados en reposo no pueden ejercer fuerzas (como alguno dijo: "Si están quietos no pueden hacer nada"). Esta idea es coherente con el preconcepto de fuerza, que relaciona a ésta con la velocidad, y puede explicar en parte, porqué los alumnos se olvidan tan a menudo de dibujar vectores representativos de cierto tipo de fuerzas como la tensión de un hilo, la fuerza que hace un plano sobre un cuerpo que se encuentra en su superficie, etc

demostrando la existencia de un vector como concepto

Los errores conceptuales, como ya se ha señalado, no consisten en unas pocas equivocaciones aisladas y desconexas. Por el contrario, no sólo están en muchos casos fuertemente arraigados, sino que afectan en general a diversos dominios de la Física y de la Química. A este respecto puede consultarse el Anexo II de esta tesis en donde se muestra una colección (por supuesto ampliable) de cuestiones diseñadas específicamente para revelar la existencia de dichos errores. Sin embargo hemos creído interesante, como se indicó en capítulo 3 (pág 27), incluir aquí algunas de las cuestiones con las que hemos venido trabajando a lo largo de estos últimos años, a modo de ampliación del CUESTIONARIO I. El objeto de esto es afianzar la validez de las conclusiones obtenidas inicialmente con unas cuantas cuestiones de mecánica, generalizandolas a otros dominios de la Física y la Química. Los resultados obtenidos se reproducen a continuación en la TABLA 4, especificando: enunciado de la cuestión; grupo encuestado; número de respuestas N; porcentaje de errores conceptuales cometidos % Error, y desviación típica s, en cada caso.

TABLA 4. correspondiente a AMPLIACION CUESTIONARIO I.

Detección de preconceptos en distintos campos de la Física y Química

1a) *Un satélite artificial gira con movimiento uniforme alrededor de la tierra, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (señalar con una cruz la respuesta correcta)*

- a) *La fuerza de atracción gravitatoria*
- b) *La gravitatoria y la centrífuga*
- c) *La gravitatoria y la centrípeta*
- d) *La gravitatoria la centrífuga y la centrípeta*
- e) *Otra respuesta (especificar)*

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>g</u>
Alumnos C.O.U.	265	87.9	2.0
Alumnos C.A.P.	136	82.4	4.1
Profesores de F y Q de E.M.	195	60.0	3.5

2a) *Un objeto A de masa m circula con una velocidad de 5 m/s. Otro B de masa $(3/4)m$ lo hace con una velocidad de 6 m/s. ¿Cual de los dos posee más fuerza?.*

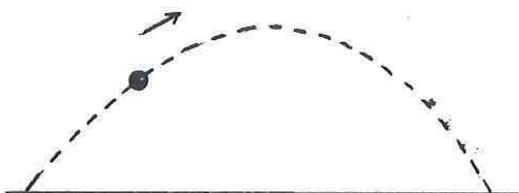
- a) *El A*
- b) *El B*
- c) *Otra respuesta...*

— — — — — sigue — — — — —

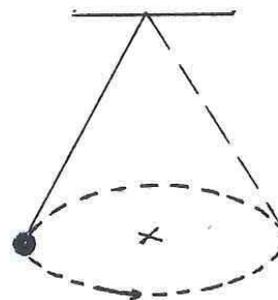
Tabla 4. (Continuación).

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
Alumnos de C.O.U.	114	73.7	4.1
Profesores de F y Q de E.M.	195	48.7	3.6

3a) Dibujar las fuerzas reales que en cada situación actúan sobre la esfera y su resultante. (La flecha indica en cada caso la dirección del movimiento en el instante representado. El rozamiento se considera nulo).



Tiro oblicuo.



Péndulo cónico.

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
Alumnos C.O.U.	265	97.7	0.9
Alumnos C.A.F	136	75.0	3.4
Profesores de F y Q de E.M.	195	60.5	3.5

sigue -

--- Tabla 4. (Continuación) ---

4a) Un sistema está constituido por un objeto de masa m y la tierra M .
En este caso podemos asegurar que: (señalar con una cruz la
respuesta correcta)

- a) Sólo el cuerpo de masa m posee energía potencial gravitatoria
- b) La energía potencial del cuerpo es mayor que la de la tierra
- c) La energía potencial de la tierra es mayor que la del cuerpo
- d) Otra respuesta (especificar)...

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
Profesores de F y Q de E.M.	164	77.4	3.3

5a) Señalar por medio de una cruz cual es la afirmación más correcta:

- a) De nuestros ojos sale luz que llega a los objetos haciendo-
nos notar su presencia.
- b) Para poder ver un objeto, es necesario que éste difunda la luz que
recibe (del sol, bombilla etc), en todas direcciones.
- c) Podemos ver los objetos gracias a que su imagen es transportada
hasta nuestros ojos por la luz que reflejan.

--- sigue ---

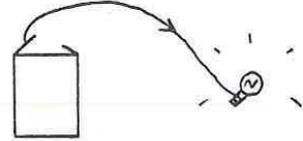
Tabla 4. (Continuación)

<i>Grupo encuestado</i>	<i>N</i>	<i>%Error</i>	<i>±</i>
<i>Séptimo de E.G.B.</i>	134	70.9	2.0
<i>Primero de B.U.P.</i>	259	57.9	1.7
<i>Tercera de B.U.P.</i>	206	45.1	1.9
<i>C.O.U</i>	186	50.5	1.8
<i>Primero de Magisterio</i>	65	56.9	2.0
<i>Segunda de Químicas</i>	92	26.1	1.7
<i>sigue</i>			

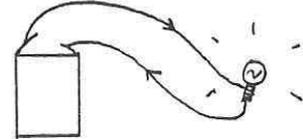
— — — — — Tabla 4. (Continuación) — — — — —

6a) Señalar cual de las situaciones siguientes describe correctamente lo que le ocurre a la corriente eléctrica:

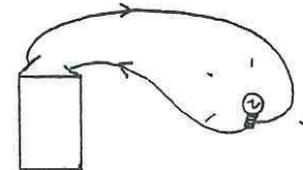
a) La corriente sale de un polo de la pila y se consume en la bombilla.



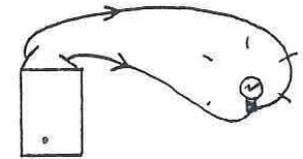
b) Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



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



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



<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>±</u>
Séptimo de E.G.B.	134	83.6	2.0
Primero de B.U.P.	265	84.2	2.2
Tercero de B.U.P.	212	66.0	2.3
C.O.U.	239	66.9	2.4
Primero de Magisterio	64	59.4	2.0
Segundo de Químicas	92	30.4	2.2

— — — — — sigue — — — — —

--- Tabla 4. (Continuación) ---

7ª Al calentar el sólido NH_4Cl se descompone en HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanzará un estado de equilibrio según la ecuación:



Señala cual de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración del sólido NH_4Cl :

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) Disminuir la presión.
- d) Otra respuesta (especificar)...

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
Alumnos de C.O.U.	265	98.5	0.8
Alumnos del C.A.P.	136	95.1	1.0
Profesores de F y Q de E.M.	195	94.9	1.6

--- sigue ---

- - - Tabla 4. (Continuación). - - -

8a) Una mezcla de N_2 , H_2 y NH_3 está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación:



La mezcla en equilibrio contiene: 1.3 moles de NH_3

0.1 moles de N_2

0.3 moles de H_2

Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio K_c para dicha reacción. Elige cual de las respuestas siguientes te parece correcta:

a) $K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$

b) $K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$

c) Otra respuesta

d) No lo sé.

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
Alumnos de C.O.U.	114	94.7	2.1
Profesores de F y Q de E.M.	195	68.2	3.3

- - - sigue - - -

— Tabla 4. (Continuación). —

9a) Cuando representamos la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno gaseosos por medio de la ecuación química:



Dicha ecuación nos indica que: (Señalar cierto o falso en cada caso)

- a) Inicialmente había dos moles de moléculas de Hidrógeno y una mol de moléculas de oxígeno, y al reaccionar se han transformado en dos moles de moléculas de agua.
- b) Cada dos gramos de hidrógeno que reaccionan, lo hacen con un gramo de oxígeno dando dos gramos de agua.
- c) Otra respuesta...
- d) No lo sé.

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>s</u>
2º de B.U.F.	172	98.1	1.0
Alumnos de C.O.U.	64	95.1	2.7

sigue

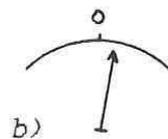
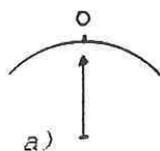
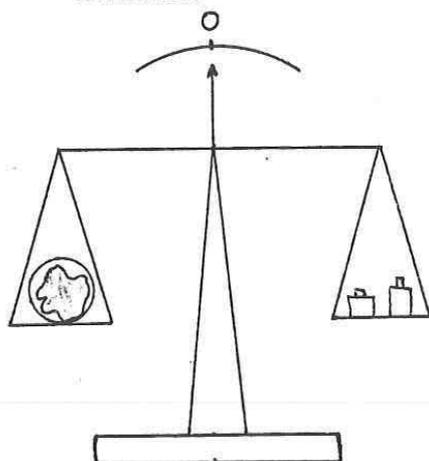
— Tabla 4. (Continuación). —

10^a) Según el modelo atómico de Bohr, el ión H^+ consiste en:
(Señalar la respuesta correcta)

- a) El núcleo del átomo de hidrógeno y una órbita vacía.
- b) El núcleo del átomo de hidrógeno únicamente.
- c) El núcleo del átomo de hidrógeno y varias órbitas vacías.
- d) No lo sé.

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>Σ</u>
Segundo de B.U.P.	172	72.7	3.4
C.Q.U.	64	68.8	5.8

11^a) En la balanza adjunta hay una esfera de vidrio cerrada con una bola de papel dentro. En el platillo de la derecha se han colocado pesas hasta que se alcanza el equilibrio. Por medio de una lupa se hace arder totalmente el papel. Señalar cual de los esquemas indica correctamente lo que marcará el fiel de la balanza:



c) No sé

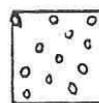
— sigue —

Tabla 4. (Continuación)

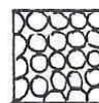
<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>±</u>
Séptimo de E.G.B.	135	80.0	1.8
Primero de B.U.P.	258	60.8	2.3
Tercero de B.U.P.	209	48.3	3.5
C.O.U.	239	37.2	3.1
Primero de Magisterio	65	45.0	6.2
Segundo de Químicas	92	17.4	3.9

12ª) Una de las propiedades más conocidas del aire es su compresibilidad (facilidad con que su volumen disminuye al aumentar la presión, como puede comprobarse fácilmente con una jeringuilla). Indicar cual de los esquemas siguientes interpreta adecuadamente esta propiedad:

a) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen.



b) Al presionar, las partículas se comprimen reduciéndose así su tamaño.



c) No lo sé.

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>%Error</u>	<u>±</u>
7º de E.G.B.	134	60.5	4.2
1º de B.U.P.	264	45.6	3.1

A la vista de los resultados anteriores, no cabe duda de que los errores conceptuales cometidos por los alumnos, afectan a diversos dominios de la Ciencia. La mayoría de las conclusiones dadas en el CUESTIONARIO I, son igualmente válidas aquí. Así, podemos encontrar en las explicaciones de los alumnos evidencias de los preconceptos que orientan sus respuestas. A modo de ejemplo reproduciremos textualmente algunas de las explicaciones más abundantes respecto a la cuestión 9ª sobre el significado de los coeficientes numéricos de una ecuación química y la 11ª sobre el principio de conservación de la masa: " 9b falsa porque contradice el principio de conservación de la masa. Debería de poner 3 gramos de agua".

En la cuestión 9ª, la opción a) fue la que obtuvo un mayor porcentaje de respuestas afirmativas. Concretamente, el 80% sobre el total de los alumnos de 2º de B.U.P. y el 90% de los de C.O.U. la calificaron como cierta, evidenciándose así la existencia de una idea muy difundida según la cual, los coeficientes numéricos que aparecen delante de las fórmulas en las ecuaciones químicas, representan precisamente los moles de sustancias de los que efectivamente se parte (izquierda) y los moles de productos que efectivamente se obtienen (derecha). Esta confusión se ve sin duda favorecida por afirmaciones poco precisas que se suelen hacer incluso en los propios libros de texto, donde no se dedica suficiente atención a este problema. A modo de ejemplo reproducimos un párrafo de un libro de 3º de B.U.P.



La ecuación equilibrada representa a su vez una relación cuantitativa entre las cantidades de los reactivos, ya que cada fórmula equivale a una mol de la sustancia correspondiente. Así, la ecuación molecular indica que 4 moles de S_2Fe reaccionan con 11 moles de O_2 para dar dos moles de Fe_2O_3 y 8 moles de SO_2 .

Es obvio que afirmaciones como la anterior en donde no aparece claramente la idea de proporción, no pueden incidir positivamente en el error que estamos comentando.

Por otra parte la opción c), donde se plantea la misma confusión pero agravada, por el hecho de identificar los coeficientes no con moles de sustancias, sino con gramos, fue, como era de esperar, más minoritaria: el 45% de los alumnos de 2º y el 18.3% de los de C.O.U. la calificaron de verdadera. No obstante, hemos de señalar que se trata de porcentajes demasiado altos, máxime si tenemos en cuenta el hecho de que en la reacción propuesta la suma de los coeficientes de la izquierda, no coincide con los de la derecha.

En algún caso, hemos detectado también concepciones muy particulares respecto al equilibrio químico. Así un alumno de C.O.U. se expresaba diciendo:

"Los dos moles de moléculas de hidrógeno y el mol de oxígeno, se convierten en dos moles de moléculas de agua, pero después estos dos moles de agua se vuelven a convertir en lo que había inicialmente y así sucesivamente, están en perfecto equilibrio".

Respecto a la cuestión 11ª, sobre el principio de conservación de la masa, reproduciremos a continuación algunos de los comentarios más frecuentes: Para un alumno de 7º de E.G.B. :

"Pesarán más las pesas porque al quemarse el papel, la bola pierde peso"

Para un alumno de C.O.U. :

"El oxígeno ha desaparecido y pesará menos"

Las respuestas anteriores revelan la creencia, que probablemente se ha ido elaborando en base a interpretaciones poco rigurosas de las experiencias cotidianas, de que en una simple combustión desaparece materia.

Hemos visto pues, cómo los errores conceptuales afectan a distintos dominios de la Física y de la Química. No obstante, el hecho de que las conclusiones del CUESTIONARIO I puedan ser ampliadas a otros dominios científicos, no debe llevar a una visión uniforme sobre los preconceptos. Como ya se indicaba anteriormente en el diseño, (pág 49), aunque es cierto que existen preconceptos en la mayoría de los dominios científicos, la intensidad con que se encuentran arraigados debería de ser mayor - según nuestra hipótesis sobre su origen- en los dominios más próximos a experiencias cotidianas y reiteradas. Para mostrar esto, se elaboró el CUESTIONARIO II (pág 60), en donde se utilizaban algunas cuestiones de mecánica junto con otras de Química. La hipótesis -ya fundamentada en el capítulo 3, (pág 27)- predecía la existencia de importantes diferencias en torno a los dos tipos de cuestiones. Estas diferencias se expresaban diciendo:

La persistencia a lo largo del proceso educativo, de los preconceptos sobre mecánica, ha de ser más alta que en otros campos.

Se ha de dar una mayor seguridad o confianza en las respuestas erróneas cuando estas se refieren a las cuestiones sobre mecánica, más ligadas a evidencias de "sentido común".

De este modo el CUESTIONARIO II fue pasado a un total de 1004 estudiantes repartidos de la siguiente forma:

134 de Séptimo de E.G.B. de un centro.

264 de Segundo de B.U.P. de cinco centros.

208 de Tercero de B.U.P. de cinco centros.

241 de C.O.U de seis centros.

65 de Primero de Magisterio, de una Escuela Universitaria.

92 de Segundo de Químicas de una Facultad.

Con objeto de evitar al máximo las respuestas aleatorias, no se fijó tiempo límite para las respuestas, y se incluyó en cada cuestión la

respuesta "no lo sé". Así mismo se pedía a los alumnos que se pronunciaran sobre la validez de sus respuestas, calificando cada una de ellas con una nota entre cero y diez.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación en las TABLAS 5 y 6 y en las Gráficas 3 y 4 . La TABLA 5, al igual que la Gráfica 3, se refieren a los porcentajes de error para cada cuestión y para cada curso. La TABLA 6 y la Gráfica 4, se refieren al porcentaje de respuestas erróneas seguras para cada cuestión y curso. (Recordemos que por respuesta errónea segura se entendía aquella que había sido calificada con una nota igual o mayor a 8). Para facilitar la comparación, hemos agrupado separadamente las cuestiones de mecánica y de Química. De acuerdo con las hipótesis enunciadas, las tablas y más claramente las gráficas, muestran que:

Los porcentajes de respuestas erróneas son parecidos en 7º de E.G.B. para todas las cuestiones (ligeramente más bajos para las de Química). El efecto de la escolarización sin embargo, es prácticamente nulo en las cuestiones de mecánica y mucho más marcado en las de Química.

TABLA 5, Correspondiente al Cuestionario II, (Diferencias en la evolución de los preconceptos)

Porcentajes de respuestas erróneas (% E)

←----- mecánica ----->

←----- Química ----->

Curso	N	1ª fuerz/mov	3ª caída grav	4ª fuerz/mov	2ª cons masa	5ª nat gas,
7º EGB	134	73,6 (3.8)	84,7 (3.1)	87,2 (2.9)	80,0 (3.5)	60,5 (4.2)
1º BUP	264	84,4 (2.2)	88,2 (2.0)	82,7 (2.3)	60,6 (3.0)	45,5 (3.1)
3º BUP	208	85,3 (2.5)	75,1 (3.0)	78,2 (2.9)	48,3 (3.5)	24,8 (3.0)
C.D.U.	241	86,2 (2.2)	61,5 (3.1)	79,4 (2.6)	37,2 (3.1)	18,3 (2.5)
1º Magist.	65	85,7 (4.3)	68,3 (5.8)	79,0 (5.1)	45,0 (6.2)	24,5 (5.3)
2º Química	92	80,0 (4.2)	44,4 (5.2)	72,8 (4.0)	17,4 (3.9)	2,2 (1.5)

TABLA 6, Correspondiente al Cuestionario II, (Diferencias en la evolución de los preconceptos)

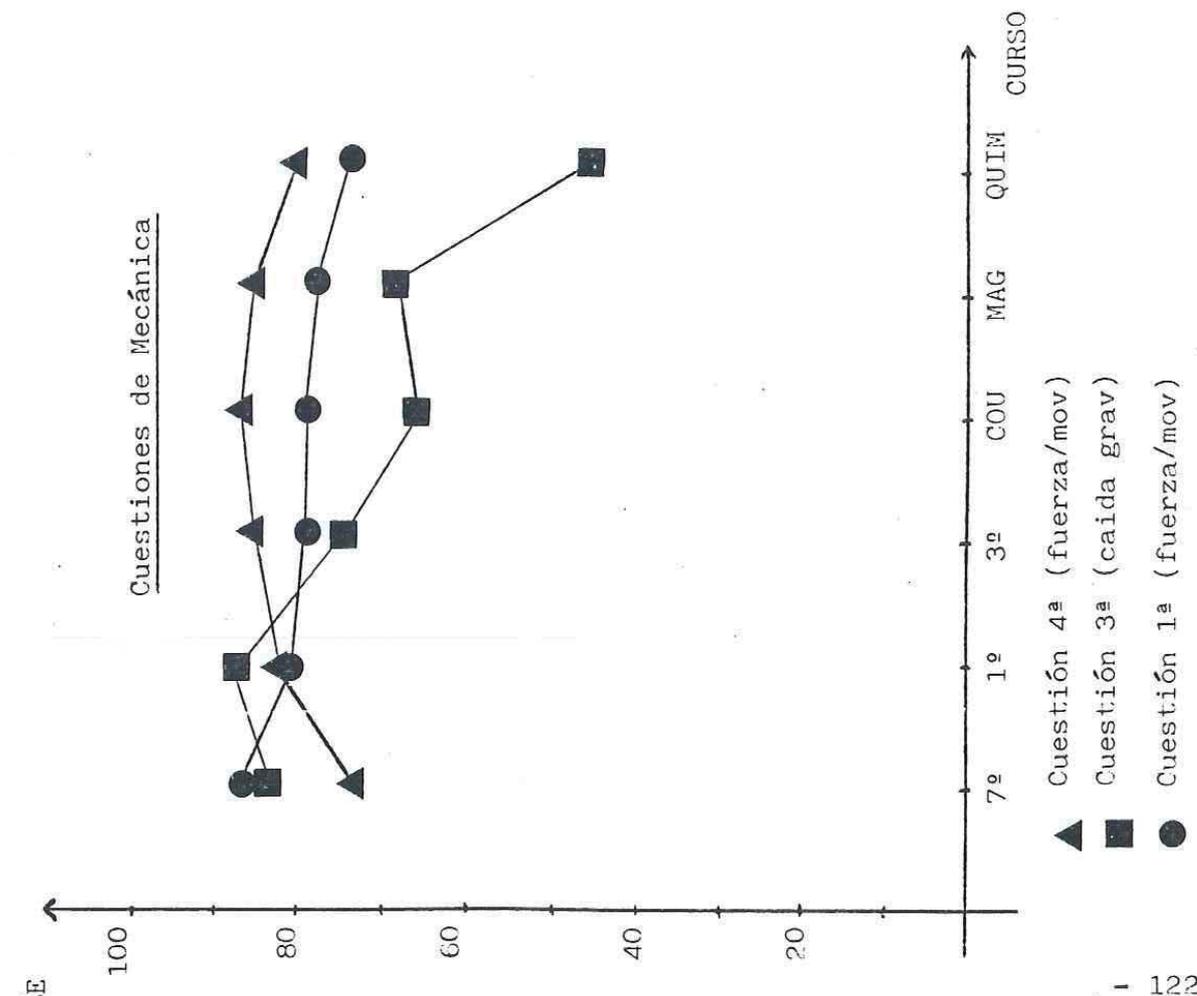
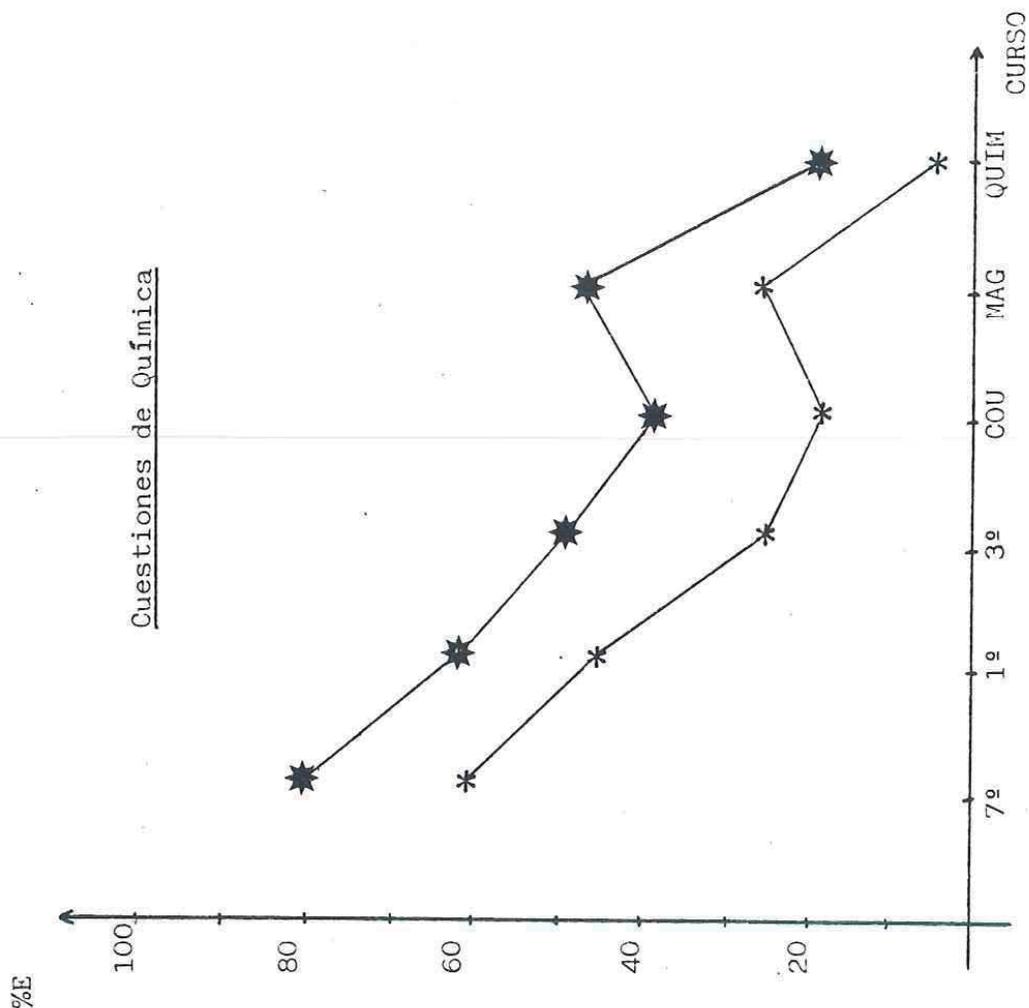
Porcentajes de respuestas erróneas seguras (% E_s)

←----- mecánica ----->

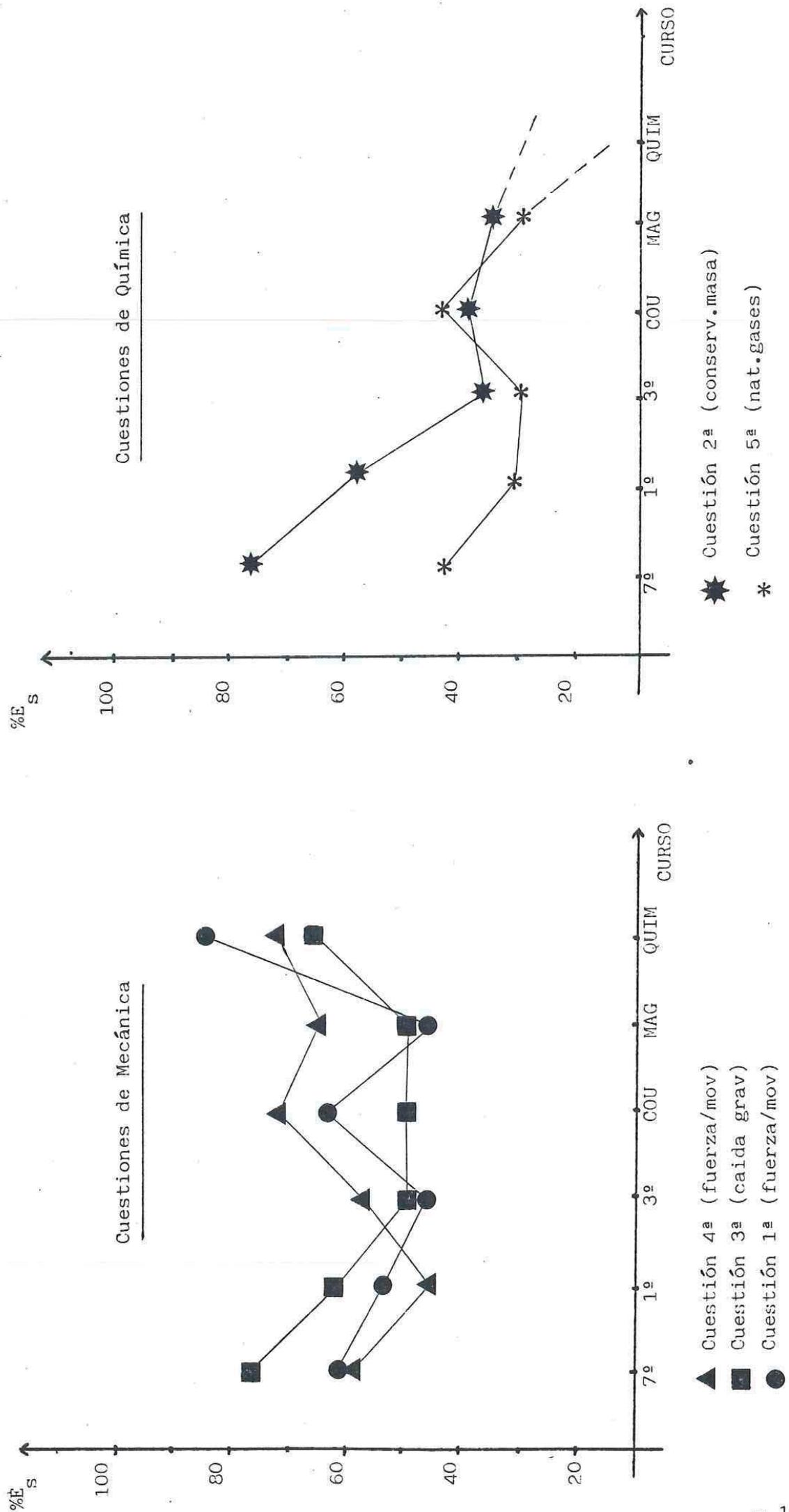
←----- Química ----->

Curso	N	1ª fuerz/mov	3ª caída grav	4ª fuerz/mov	2ª cons masa	5ª nat gas,
7º EGB	134	60,0 (4.2)	75,2 (3.7)	59,8 (4.2)	75,6 (3.7)	42,4 (4.3)
1º BUP	264	51,8 (3.1)	60,9 (3.0)	44,1 (3.1)	57,1 (3.0)	30,1 (2.8)
3º BUP	208	45,0 (3.4)	48,0 (3.5)	55,2 (3.4)	35,4 (3.3)	29,2 (3.2)
C.D.U.	241	62,4 (3.1)	48,2 (3.2)	70,3 (2.9)	37,9 (3.1)	41,5 (3.2)
1º Magist	65	45,1 (6.2)	47,5 (6.2)	62,5 (6.0)	33,3 (5.8)	30,8 (5.7)
2º Química	92	83,3 (3.9)	65,0 (5.0)	71,6 (4.7)		

GRAFICA 3. Porcentaje de respuestas erroneas %E



GRAFICA 4. Porcentaje de respuestas erroneas seguras %E_s



la seguridad en las respuestas erróneas de mecánica no disminuye significativamente: antes al contrario, los estudiantes de 2º de Químicas, son los que se muestran más seguros a la hora de dar respuestas "de sentido común". En efecto, tras pasar el cuestionario, en muchos de los cursos se realizó una pequeña sesión para comentar las respuestas. La norma general era que las explicaciones a las respuestas que se consideran como correctas en el marco clásico, eran rápidamente aceptadas en las cuestiones de Química. Sin embargo en las de mecánica ocurría el efecto contrario, produciéndose a veces duras discusiones.

Los resultados pues, verifican las hipótesis enunciadas y contribuyen a reforzar la idea en la cual hemos basado el modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico, de que existe un cierto isomorfismo entre el aprendizaje significativo de las ideas científicas y la evolución histórica de estas ideas.

Cabe insistir finalmente, que de acuerdo con estos resultados, el necesario cambio metodológico debería de plantearse, particularmente a través de la mecánica, que es en donde aparecen las barreras epistemológicas más fuertes y donde los estudiantes (y los profesores) hacen una defensa más tenaz de sus ideas y quedan más sorprendidos cuando se dan cuenta de que aquello que creían evidente era erróneo (Carrascosa y Gil, 1986).

Podemos pues concluir que los resultados obtenidos mediante el Cuestionario I, Ampliación del cuestionario I, y el Cuestionario II, nos permiten afirmar tal y como hacíamos en el encabezamiento de este apartado, que los errores conceptuales existen realmente, sin que quepa atribuir los mismos a olvidos o contestaciones aleatorias para salir del paso. Además dichos preconceptos son en general muy persistentes, principalmente los de mecánica que es en donde los alumnos se ratifican en los mismos con mayor convencimiento.

Respecto a la primera conclusión, enunciada en el párrafo anterior, hemos de destacar el hecho de que coincide con la que de forma independiente a

nosotros, han llegado posteriormente otros autores como Engel y Driver, que en un reciente artículo (Engel y Driver, 1986), muestran cómo el uso de las mismas ideas intuitivas en contextos diferentes, pero en los cuales los razonamientos científicos son los mismos o similares, dan validez a la existencia de tales ideas como verdaderas formas de pensamiento. Una de las características más importantes del trabajo es que se han utilizado ejemplos familiares, en donde se evita el uso de vocabulario que pueda sugerir ideas o principios científicos.

4.2 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que en la enseñanza habitual de la Física y Química no se tiene en cuenta en general, la existencia de los errores conceptuales cometidos por los alumnos.

Mediante la utilización del CUESTIONARIO III (pág 66), se procedió a realizar un análisis de un total de 63 libros de texto, que por niveles educativos han sido:

Educación General Básica	16
Segundo de B.U.P	14
Tercero de B.U.P	14
C.O.U.	19

En el Anexo III (pág 359) damos una relación de los textos, indicando el autor, título y año de edición.

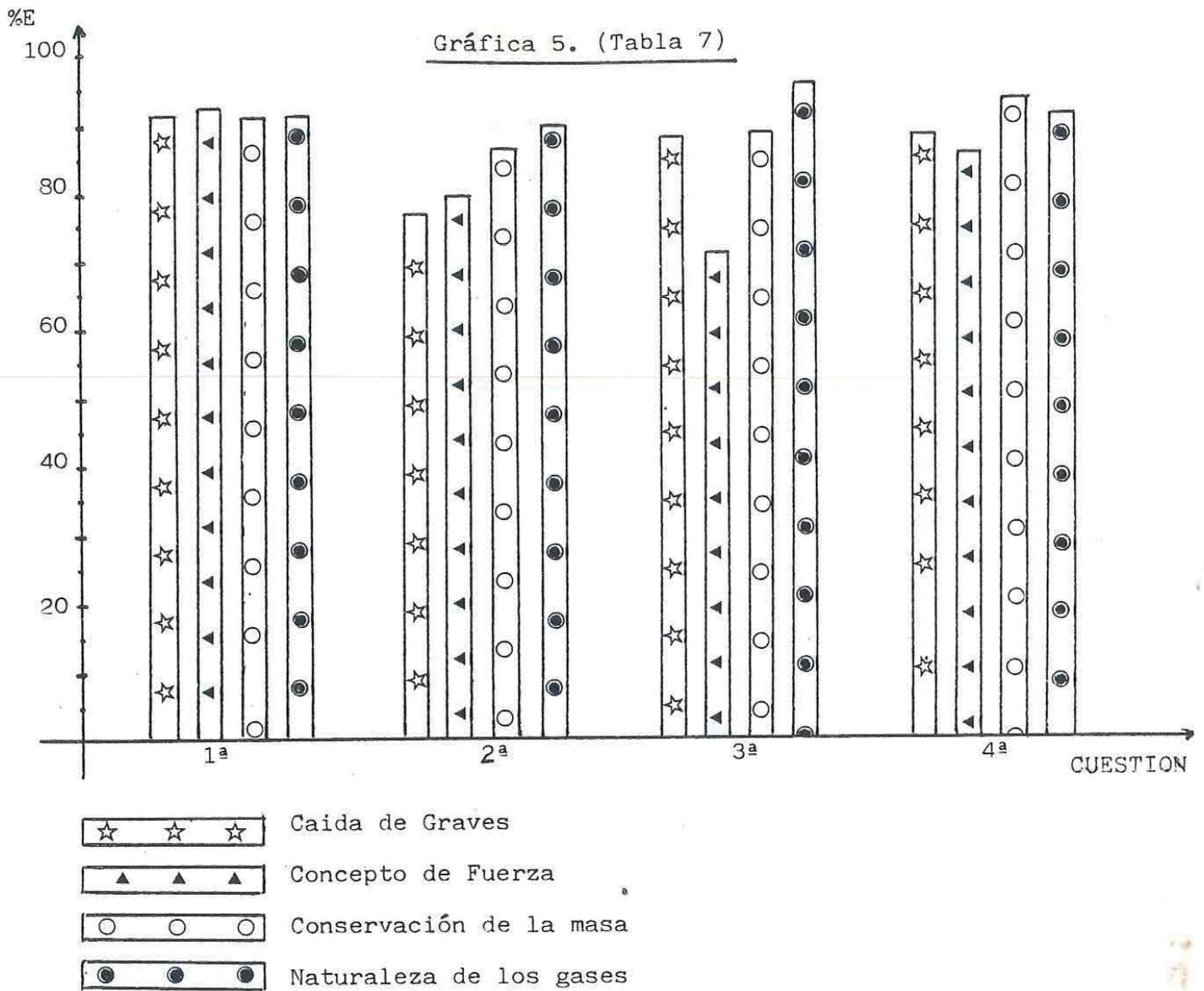
Recordemos que se trataba de comprobar la existencia de una escasa atención a los preconceptos de los alumnos, centrandonos para nuestro análisis en el concepto de fuerza, caída de graves, principio de conservación de la masa y naturaleza de los gases.

Los resultados obtenidos se exponen a continuación en la TABLA 7 y en la Gráfica 5 (págs 127 y 128). Hemos de aclarar que para el cálculo de estos porcentajes se ha contabilizado obviamente, sólo los textos en donde aparece el aspecto a investigar. LLama la atención en primer lugar, que el porcentaje de textos en donde no se propone ninguna cuestión ni al principio ni al final del tratamiento del aspecto considerado (caída de graves, concepto de fuerza, etc) que sirva para detectar posibles preconceptos, es en casi todos los casos superior al 90%, mostrando así una ignorancia general respecto al problema.

TABLA 7. Correspondiente al Cuestionario III. (Análisis de textos).

Porcentaje de textos que NO cumplen el tratamiento expuesto en cada ítem

1º) <i>Averiguar si al abordar el estudio de un tema o la introducción de un concepto dado se propone alguna actividad en donde se conduzca al alumno a mostrar (directa o indirectamente) las ideas que ya tiene.</i>				
<u>Caida graves</u>	<u>C. Fuerza</u>	<u>Cons. Masa</u>	<u>Nat. Gases</u>	
N = 25	N = 53	N = 31	N = 16	
91.2 (5.6)	91.7 (3.8)	90.7 (5.2)	90.9 (7.2)	
2º) <i>¿Se hace en el texto alguna breve referencia histórica sobre los problemas citados, que pueda utilizarse para llamar la atención sobre los errores conceptuales que es posible cometer?</i>				
<u>Caida graves</u>	<u>C. Fuerza</u>	<u>Cons. Masa</u>	<u>Nat. Gases</u>	
76.7 (8.4)	79.2 (5.6)	86.0 (6.2)	90.0 (7.5)	
3º) <i>¿Se hace en el texto, o se le pide al alumno, algún análisis crítico de lo que nos dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos escogidos?</i>				
<u>Caida graves</u>	<u>C. Fuerza</u>	<u>Cons. Masa</u>	<u>Nat. Gases</u>	
88.2 (5.5)	70.8 (5.2)	88.4 (5.5)	95.5 (5.2)	
4º) <i>¿Se incluye al final del tema problemas o cuestiones diseñados de forma que permitan detectar la persistencia de errores conceptuales que la enseñanza impartida debería haber eliminado?</i>				
<u>Caida graves</u>	<u>C. Fuerza</u>	<u>Cons. Masa</u>	<u>Nat. Gases</u>	
88.2 (5.5)	85.4 (4.5)	93.0 (4.6)	90.9 (7.2)	



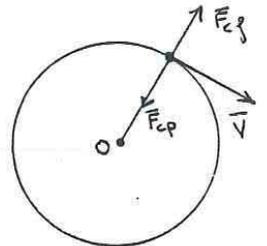
Es preciso señalar también el hecho de que en algunos textos, ampliamente utilizados en la actualidad se cometen incluso, claros y graves errores conceptuales. Veamos a continuación algunos ejemplos referentes al concepto de fuerza:

"Al ejercer una acción o fuerza sobre un cuerpo en él aparece una fuerza de reacción, que es igual y contraria a ella"

La afirmación anterior constituye el enunciado que del tercer principio de la dinámica se hace en un libro de Física y Química de 2º de B.U.P. Podría pensarse que se trata de una errata, pero más tarde vuelve a insistirse en lo mismo, e incluso se expone un ejemplo gráfico en donde se vé ambas fuerzas con origen en el mismo punto. Este error de situar la pareja de fuerzas acción / reacción sobre el mismo cuerpo, puede

encontrarse también asociado al de considerar la fuerza centrífuga como interacción real. Así en un libro de tercero de BUP encontramos:

"Por el principio de acción y reacción, la fuerza centrípeta crea otra igual y opuesta llamada centrífuga. Si en la figura deja de actuar la fuerza centrípeta, se anula instantáneamente su reacción la centrífuga y el cuerpo seguirá la dirección de la velocidad tangencial que lleva en ese instante".



Este tratamiento de la fuerza centrífuga apoya el preconcepto de fuerza como causa del movimiento. Este es el caso por ejemplo en un libro de Física de C.O.U, en donde se afirma:

"Sobre un punto de masa m que describe un movimiento curvilíneo aparece en él una fuerza denominada centrípeta... Para que el móvil no se desplace hacia el centro de su trayectoria según la fuerza centrípeta, cuyo nombre indica «dirigida hacia el centro», tiene que aparecer otra fuerza igual y contraria a la anterior, denominada fuerza centrífuga"

Cuando se utilizan razonamientos como el anterior para explicar por ejemplo por qué un coche no derrapa o bien por qué el electrón en el modelo atómico de Rutherford no se precipita sobre el núcleo debido a la fuerza de atracción electrostática, se está contribuyendo a afianzar en el alumno, la idea de fuerza como causa del movimiento

No quisieramos dar la impresión aquí, de que los errores conceptuales de cierta importancia se encuentran ampliamente distribuidos en los libros de texto. Ahora bien lo que sí que abunda bastante son las afirmaciones poco precisas, que favorecen la persistencia de los preconceptos ya que un alumno que los tenga puede interpretarlas como un apoyo del libro a sus ideas. Nos referimos concretamente a afirmaciones del tipo (citamos textualmente):

"A lo largo de este tema se estudiará el movimiento de los cuerpos teniendo en cuenta la causa que los produce; es decir: las FUERZAS. La DINAMICA es la parte de la Física que estudia las fuerzas en relación con los movimientos que producen..." (Texto de 3º de BUP).

"Al estudiar la cinemática hemos prescindido de las causas que originan el movimiento que, como ya sabemos son las fuerzas, la conexión existente entre las fuerzas y el movimiento, es decir, las fuerzas como productoras de movimiento, es estudiada por la dinámica" (Texto de 7º de EGB).

"Si un cuerpo se mueve es debido a la acción de una fuerza. La dinámica relaciona el movimiento con las causas que lo producen es decir, con las fuerzas. (Texto de 7º de EGB).

Por otra parte, hemos de tener en cuenta, que tal y como se muestra en la tabla, el porcentaje de textos en donde NO se incluye tratamiento ni referencia alguna a preconceptos supera siempre el 70% . Ello implica, que con frecuencia se realizan tratamientos excesivamente superficiales, precisamente en aspectos en donde es más necesaria una cuidadosa atención. Así, no resulta extraño encontrar exposiciones análogas a la que damos a continuación a modo de ejemplo:

"Lavoasier, a partir de los datos que obtuvo de sus experiencias, encontró que la masa de los reactivos era igual a la de los productos.

$$M_{\text{reactivos}} = M_{\text{productos}}$$

La constancia de la masa en las reacciones químicas se expresa en: La ley de la conservación de la masa: La masa de un sistema permanece constante en las transformaciones químicas".(Texto de 2º de BUP)

Para terminar, y simplemente a título anecdótico, nos referiremos a visiones ciertamente curiosas sobre el modo de crecimiento de las ciencias, como se observa en un texto de segundo de B.U.P, en donde se escribe:

"Fue a Galileo a quien le dió por afirmar que si comunicamos a un cuerpo una determinada velocidad, esta se mantendrá constante mientras no actúen causas extrañas..."

En otros casos (Texto de 7º de EGB), se hace a Galileo usuario de aparatos todavía no construidos:

"Para efectuar experimentalmente dicha demostración, Galileo dispuso un tubo de vacío, en el interior del cual no había aire, y ..."

Así, pues, si admitimos que la inmensa mayoría del profesorado utiliza frecuentemente y en muchos casos de forma exclusiva, un libro de texto para impartir sus clases, y que éste ejerce una indudable influencia en sus planteamientos didácticos, tenemos que concluir a la vista de los resultados anteriores, que en general, cuando se enseña, no solamente se ignoran las ideas previas de los alumnos, como necesario punto de partida (más del 90% de los textos analizados), sino que además se presta muy poca atención a los errores conceptuales tal y como muestra la ausencia en un porcentaje muy elevado, de siquiera breves referencias históricas, o análisis críticos sobre lo que nos dice el sentido común y de actividades cuya resolución implique una puesta de manifiesto de posibles preconceptos en aquellos alumnos que todavía los tengan.

Otro ángulo desde el cual podemos abordar el mismo problema, de la escasa atención que la enseñanza habitual presta a los preconceptos de los alumnos, es mediante el análisis de las diversas pruebas de evaluación propuestas a los alumnos, que muestran aquello a lo que se le concede más importancia. (Hotyat, 1962); (Aguilá et al, 1986).

Con este fin se procedió a aplicar el CUESTIONARIO IV, (pág 67) a :

114 cuestiones teóricas correspondientes a los exámenes oficiales realizados para la obtención del grado elemental (1962-1968).

50 pruebas de acceso propuestas en el antiguo curso Preuniversitario.

176 evaluaciones de las actuales pruebas de acceso a la Universidad.

40 ejercicios de evaluación propuestos en sus propias clases por profesores de Física y Química de distintos centros estatales de enseñanza media.

Los resultados obtenidos se exponen en la TABLA 8. En ella se hace constar el porcentaje de pruebas que no cumplen los aspectos analizados. Es necesario indicar que con objeto de dar una mayor fiabilidad a los resultados, el análisis se realizó por dos equipos de colaboradores independientes, comprobándose que los porcentajes dados diferían escasamente en todos los casos y tomando siempre el valor más desfavorable para la hipótesis. A pesar de ello y como puede comprobarse, los porcentajes son tan próximos al 100% que no se ha considerado necesario el incluir la desviación típica. Por otra parte, no puede afirmarse que se haya dado ninguna evolución significativa desde las pasadas pruebas de examen de grado a las actuales pruebas de acceso a la Universidad o a los mismos exámenes propuestos por los profesores en sus clases.

TABLA 8. Correspondiente al Cuestionario IV. (Análisis de Exámenes)

Porcentajes de exámenes que NO incluyen los aspectos siguientes

1ª) <i>¿Hay actividades de algún tipo, en donde de forma explícita o implícita, puedan ponerse de manifiesto la persistencia de conocidos preconceptos?</i>				
<u>Grado Elem.</u>	<u>Eval. Preuniv.</u>	<u>Prueb. Acceso.</u>	<u>Exám. B.U.P y C.O.U.</u>	
90.4	100	98.3	89.2	
2ª) <i>Se plantea alguna actividad de manipulación de conceptos en la que se pida el significado físico de definiciones, magnitudes, expresiones operativas etc?</i>				
<u>Grado Elem.</u>	<u>Eval. Preuniv.</u>	<u>Prueb. Acceso.</u>	<u>Exám. B.U.P y C.O.U.</u>	
90.4	92.0	94.3	83.1	

Así pues, hemos visto desde dos perspectivas distintas, como la enseñanza habitual ignora en general la existencia de los errores conceptuales en los alumnos y consecuentemente tampoco se plantea su tratamiento.

4-3 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que los errores conceptuales cometidos por los alumnos se hallan íntimamente asociados con la metodología de la superficialidad

Una de las hipótesis básicas sobre la que hemos hecho mayor hincapié en esta tesis, es la de que no es posible lograr una mejora verdaderamente significativa en la adquisición de los conocimientos científicos, si el necesario cambio conceptual no va acompañado a su vez de un profundo cambio metodológico que conduzca a la superación de lo que a lo largo de este trabajo hemos venido denominando "metodología de la superficialidad" (Gil y Carrascosa, 1985). En efecto, en el capítulo segundo ya se intentó justificar cómo la metodología de la superficialidad estaba directamente relacionada con la génesis y consolidación de los preconceptos de los alumnos. Se trata ahora de aportar datos experimentales sobre ello, mostrando su extensión e importancia. Para contrastar esto se realizaron tres diseños distintos, que ya se comentaron detalladamente en el apartado 3-4 (pág 68). Nos limitaremos aquí a recordar que en dichos diseños se trataba de poner de manifiesto la decisiva influencia de la metodología de la superficialidad en los preconceptos de los alumnos, influencia que debería de traducirse concretamente en los siguientes puntos:

- a) Elevados porcentajes de errores conceptuales acompañados de tiempos medios de respuesta excesivamente cortos y una ausencia casi total de comentarios o aclaraciones a las respuestas, en los CUESTIONARIOS V y VI, (págs 77 y 79), incluso cuando se advierta previamente sobre la facilidad de equivocarse, se pase primero un cuestionario como pre-test explicando a continuación las respuestas consideradas como correctas, etc.
- b) Un operativismo generalizado que se traduce en la sustitución directa de datos en fórmulas, sin cuestionarse previamente el campo de validez de estas ni la situación física que se aborda etc.

c) Un aumento espectacular de los errores conceptuales cuando, sin alterar la naturaleza de una cuestión familiar, se cambia el enunciado de la misma, de forma que no es "reconocida" por los alumnos, que vuelven a cometer el error conceptual.

A continuación pasamos a enunciar y comentar los resultados obtenidos en cada uno de los puntos descritos, siguiendo para ello el mismo orden en que estos han sido enunciados.

Comenzaremos, pues, por los resultados de los CUESTIONARIOS V y VI (págs 77 y 79 respectivamente).

Estos cuestionarios fueron utilizados inicialmente ambos como pre-test, con diferentes grupos de sujetos. Las TABLAS 9 y 10 recogen los porcentajes de error obtenidos en estas condiciones y la desviación típica correspondiente. Se especifica también el número de encuestas pasadas y curso en donde se realizaron. Hay que señalar que a los profesores de enseñanza media se les pasaron ambos cuestionarios unificados en uno solo, aprovechando distintos cursos de perfeccionamiento del profesorado celebrados en varias ciudades españolas. Los profesores en formación fueron alumnos que se encontraban realizando el Curso de Aptitud Pedagógica (C.A.P.), procedentes de varias Facultades de Física y de Química, y a todos ellos se les pasó únicamente el CUESTIONARIO VI. En cuanto a los alumnos de C.O.U. el CUESTIONARIO V se pasó como test inicial a un total de 114 alumnos de dos centros y el VI a un total de 265 alumnos de cuatro centros. Por otra parte, mediante el método de X^2 , puede demostrarse que no existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos con ambos cuestionarios, lo que verifica su equivalencia ($X^2 = 4.98$).

TABLA 9. Correspondiente al Cuestionario V.

(Metodología de la superficialidad)

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 77).

Porcentajes de error al utilizar el cuestionario V como test inicial

Grupo encuest	N	1ª	2ª	3ª	4ª
C.O.U.	114	99.1 (0.8)	87.7 (3.1)	73.7 (4.1)	94.7 (2.1)
Prof de E.M	195	89.7 (2.2)	54.3 (3.5)	48.7 (3.6)	68.2 (3.8)

TABLA 10 Correspondiente al Cuestionario VI.

(Metodología de la superficialidad)

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 79).

Porcentajes de error al utilizar el cuestionario VI como test inicial

Grupo encuest	N	1ª	2ª	3ª	4ª
C.O.U.	265	87.9 (2.0)	97.7 (0.9)	94.7 (1.4)	98.5 (0.8)
C.A.P.	136	82.4 (3.3)	75.0 (3.7)	80.1 (3.4)	98.5 (1.0)
Prof de E.M.	195	60.0 (3.5)	60.5 (3.5)	67.2 (3.4)	94.9 (1.6)

La simple lectura de los altos porcentajes de error, incluso entre el profesorado en formación y en activo, especialmente en aquellas cuestiones en las que puede darse un operativismo mecánico e irreflexivo (veanse por ejemplo los resultados de la cuestión de Química del V o del VI), es un dato suficientemente indicativo de hasta que punto la metodología de la superficialidad está profundamente arraigada entre alumnos y profesores. Por otra parte hemos de indicar que aun a pesar de que en los cuestionarios se invitaba expresamente a una respuesta comentada, en ninguno de los grupos el porcentaje de aclaraciones o justificaciones de las respuestas superó el 13% .

Como ya se ha indicado anteriormente, los CUESTIONARIOS V y VI, fueron utilizados bajo distintas circunstancias para mostrar que estos errores no responden a una falta de atención fácil de corregir. A continuación expondremos cada una de ellas y los resultados obtenidos en cada caso:

Uno de los factores a constatar era la escasa influencia que frente a la metodología de la superficialidad iban a tener las simples llamadas de atención a los alumnos sobre la necesidad de una seria reflexión previa antes de responder. La TABLA 11 muestra el porcentaje de respuestas erróneas obtenido entre los grupos de alumnos de C.O.U. a los que se pasó inicialmente uno de los cuestionarios advirtiéndoles previamente sobre la dificultad de las cuestiones y el peligro de contestar precipitadamente. Dichos resultados se acompañan con los de otros grupos también de C.O.U. no advertidos. La utilización del método de X^2 permite comprobar que no hay diferencias significativas entre ambos casos ($X^2 = 0.2$, para el cuestionario V y $X^2 = 3.25$ para el cuestionario VI), ni siquiera aceptando un riesgo del 5% de que las diferencias observadas sean debidas a causas aleatorias.

TABLA 11. (Metodología de la Superficialidad)

Porcentajes de respuestas erróneas en alumnos de C.O.U. advertidos y no advertidos sobre la necesidad de prestar una cuidadosa atención.

Questionario V como pre-test

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 77).

Grupo encuest	N	1ª	2ª	3ª	4ª
Grupo I. SI Advertidos	38	100	97.4	68.4	100
Grup.II. NO Advertidos	59	98.3	93.1	72.9	93.2

Questionario VI como pre-test

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 79)

Grupo encuest	N	1ª	2ª	3ª	4ª
Grupo I. SI Advertidos	99	79.8	98.0	98.0	97.0
Grup.II. NO Advertidos	166	69.9	75.3	72.9	99.4

Análogos resultados se obtuvieron cuando se procedió a utilizar uno de los cuestionarios como pre-test y el otro como post-test. La idea consistía en pasar un cuestionario a algunos grupos de alumnos de C.O.U. y después explicarles detalladamente las respuestas correctas resaltando los errores cometidos etc. A estos mismos alumnos se les pasaría dos meses después el otro cuestionario, que haría el papel de post-test, con el objeto de averiguar el efecto del primer cuestionario y de las explicaciones y llamadas de atención recibidas, en el porcentaje de errores conceptuales cometidos y en la inclusión o no de comentarios y explicaciones a las respuestas. Los resultados obtenidos se muestran en la TABLA 12, y de nuevo constatamos que las diferencias no son significativas. ($X^2 = 1.56$) cuando se utiliza el cuestionario V como post-test, y $X^2 = 1.57$ cuando se utiliza el cuestionario VI como post-test.

TABLA 12. (Metodología de la Superficialidad)

Porcentajes de respuestas erróneas de los alumnos de C.O.U según se utilice cada cuestionario como prueba inicial o final.

Grupo A

	N	1a	2a	3a	4a
Cuestionario V como prueba inicial.	97	99.0	93.8	71.1	95.9
Cuestionar. VI como prueba final.	90	90.0	97.8	85.6	98.9

sigue

Tabla 12. (Continuación).

Grupo B

	N	1a	2a	3a	4a
Cuestionario VI como prueba inicial.	50	78.0	100	98.0	100
Cuestionar. V como prueba final.	50	100	94.0	90.0	100

El elevado peso de la metodología de la superficialidad se muestra también muy claramente en los escasos tiempos medios de respuesta a los cuestionarios. Recordemos que el tiempo medio de respuesta se definió operativamente como $t_m = (\sum n_i \times t_i) / n$, donde n_i es el número de cuestionarios finalizados en el minuto t_i , y n es el número total de cuestionarios entregados. El tiempo se comenzaba a contar una vez que se había repartido los cuestionarios. Incluye por lo tanto el tiempo de lectura de los mismos. Primeramente se exponen los resultados obtenidos en el tiempo medio de respuesta en cada cuestionario, para aquellos cursos de C.O.U. en que se utilizaron como cuestionario inicial (pre-test). Estos se encuentran en la TABLA 13, donde, como puede observarse, ni con el cuestionario V ni con el VI, se supera un tiempo medio de respuesta de 9 minutos. Ello muestra desde otro punto de vista la equivalencia de los dos cuestionarios, ya que aplicando la prueba de la t de Student se obtiene para este parámetro un valor de $t = 0.48$, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los breves tiempos de respuesta de ambos cuestionarios. En la misma tabla se incluye también el tiempo medio de respuesta de un grupo de profesores de enseñanza media en activo que resulta aún más breve, ya que hay que tener en cuenta que a

dichos profesores se les pasaron ambos cuestionarios integrados en uno solo. En cualquiera de los casos, la brevedad en los tiempos de respuesta explica también la prácticamente nula inclusión de comentarios.

TABLA 13. (Metodología de la superficialidad)

Grupo	<u>Cuestionario V</u>			<u>Cuestionario VI</u>		
	N	t _m	s	N	t _m	s
C.OU.	114	8.8	1.7	215	8.9	1.9
<u>Cuestionarios V y VI</u>						
Grupo	N	t _m	s			
Prof de E.M.	29	12.4	1.8			

Cabe preguntarse si en el tiempo medio de respuesta se iba a notar alguna diferencia por el hecho de advertir o no sobre la facilidad de dar contestaciones equivocadas. Para ello hemos calculado los tiempos medios de respuesta empleados para contestar el pre-test (sin distinguir en que este sea el V o el VI, ya que acabamos de mostrar su equivalencia), en alumnos advertidos y en alumnos no advertidos. Los resultados, que se exponen en la TABLA 14, muestran claramente que no hay diferencias (t de Student 0.33) ni siquiera aceptando un 5% de probabilidad de que la diferencia observada se deba a causas aleatorias.

TABLA 14. (Metodología de la superficialidad)

Tiempos medios de respuesta en alumnos de C.O.U, según se advierta o no sobre la dificultad de las cuestiones. (Cuestionario V o VI como pre-test).

Grupo	N	t _m	s
Grupo SI Advertidos	87	8.7	2.6
Grup NO Advertidos	225	8.8	1.8

Análogos resultados se obtienen cuando se mide el tiempo medio de respuesta para un cuestionario según sea utilizado como pre-test o post-test, mostrando así el escaso efecto que el hecho de haber pasado previamente un cuestionario tiene sobre este factor. En la TABLA 15 se muestra esto con un grupo de alumnos de C.O.U. a los que se les pasó el CUESTIONARIO V como prueba inicial (advirtiéndoles además sobre la facilidad de equivocarse) y otro grupo de alumnos de C.O.U. a los cuales se les pasó también el CUESTIONARIO V, pero dos meses después de haberles sido pasado el VI, explicándoles las respuestas etc. La fluctuación observada tampoco puede considerarse estadísticamente significativa.

TABLA 15. (Metodología de la Superficialidad)

Tiempos medios de respuesta en dos grupos de C.O.U. para el Cuestionario V, según sea utilizado como pre-test o post-test

	Cuestionario V		
	N	t _m	s
Como pre-test	38	8.3	1.3
Como post-test	43	7.9	1.3

Ya hemos comentado anteriormente el escaso número de explicaciones que los alumnos dan a sus respuestas, incluso a pesar de invitarles explícitamente a que lo hagan. Este número no superó en ningún caso el 13% de los encuestados y a menudo fue muy inferior. A pesar de ello algunas de las escasas explicaciones anotadas, revelan también en forma de operativismo ciego y ausencia de reflexión previa, la influencia de la metodología de la superficialidad. Así por ejemplo, en la tercera cuestión del CUESTIONARIO V (sobre la idea de que los objetos en movimiento poseen fuerza), suelen hacerse los siguientes razonamientos:

*"No lo sé, pues necesito la aceleración para hacer el cálculo
($F = m \cdot a$)"*

"El A porque $F_A = m \cdot 5/t$ y $F_B = m \cdot (4.5)/t$ "

"No puede especificarse exactamente porque se necesita la aceleración. De todas formas instintivamente creo que el A tendrá más fuerza".

Así pues, podemos concluir que la metodología de la superficialidad está tan fuertemente arraigada que ni las llamadas de atención, ni las simples explicaciones verbales, etc, tienen efectos significativos sobre la misma.

Seguidamente pasaremos a enunciar y comentar los resultados referentes al punto b (pág 134), centrado en una de las características principales de la metodología de la superficialidad: el "operativismo mecánico" que la acompaña, es decir, la tendencia a sustituir los datos numéricos en fórmulas y operar lo antes posible. Para mostrar hasta qué punto este mismo comportamiento -típico de un elevado porcentaje de alumnos- afecta también al propio profesorado de enseñanza media, hemos utilizado un problema muy simple, (similar a los que se suelen proponer a partir de segundo de B.U.P.) pero tal que cuando su resolución se aborda de una forma puramente mecánica, sin una reflexión previa y por supuesto sin ningún tipo de análisis del resultado, se obtiene una respuesta equivocada. El enunciado del problema es el siguiente:

*"Un objeto se desplaza a lo largo de su trayectoria según la ecuación:
 $e = 25 + 40t - 5t^2$ m (si t en s). Hallar la distancia total recorrida por el móvil al cabo de cinco segundos.*

El problema ya fue comentado suficientemente en el diseño (pág 74). Aquí recordaremos tan solo que las posibles resoluciones incorrectas del mismo, suelen dar como resultado 75 m o incluso 100 m. Este problema fue pasado a un total de 74 alumnos del primer ciclo del Curso de Aptitud Pedagógica, (de Físicas y Químicas en su mayoría), durante el curso académico 1985-1986. También se pasó a un total de 54 profesores de Física y Química de enseñanza media en activo asistentes a dos cursos sobre errores conceptuales que se impartieron en dos ciudades distintas. Los resultados obtenidos fueron -tal y como se preveía en la hipótesis- mayoritariamente erróneos. Concretamente, la solución correcta del problema no fue encontrada por ninguno de los alumnos del C.A.P. los

cuales dieron como solución 100 m en un 53.0% de los casos , 75 m en un 34.4% y el 12.5% restante da otras soluciones o no lo contesta. En cuanto a los profesores, de los 54 asistentes a los cursos, sólo dos dieron la solución correcta. Los resultados anteriores son coherentes con otros resultados obtenidos tambien al proponer el mismo problema en años anteriores (Carrascosa, Furió, y Gil, 1983), reforzandose así la validez de los mismos. Posteriormente el mismo problema también se ha propuesto reiteradamente en más de diez cursos sobre resolución de problemas, con una ausencia casi total de resultados correctos en todos los casos.

En el punto c (pág 135), se expone otra de las características de la metodología de la superficialidad, según la cual en muchos casos basta cambiar ligeramente el enunciado de una cuestión, para que vuelvan a cometerse determinados errores conceptuales que podia pensarse ya estaban superados. Se trata este de un hecho de importancia clave, ya que uno de los índices para saber si un alumno ha asimilado correctamente un concepto así como si utiliza una metodología apropiada, es ver en que medida es capaz de aplicar ese concepto adecuadamente en situaciones que le resulten novedosas. Para contrastar esto experimentalmente cambiamos el enunciado a una cuestión muy conocida (ver pág 75), en la que pocos alumnos universitarios de ciencias se equivocan, por un enunciado distinto (aunque sin alterar para nada la naturaleza del problema). Seguidamente reproducimos el enunciado de la cuestión modificada y los resultados obtenidos:

"La figura esquematiza a tres corredores que avanzan a la misma velocidad. El de delante, mientras corre, lanza la pelota verticalmente hacia arriba. ¿De qué factores dependerá que la pelota sea recogida por un corredor u otro?"



La cuestión anterior fue pasada durante el curso 85-86 a:

58 alumnos de Magisterio.

34 alumnos del C.A.P.

31 profesores de enseñanza media en activo.

La cuestión así elaborada fue comentada en el diseño (pág 76). Evidentemente la idea de que mientras la pelota está en el aire no avanza horizontalmente se traduce en respuestas en las que se cita a la velocidad con que se lanza, como factor determinante. Por supuesto hemos de resaltar que respuestas en donde por ejemplo, se hace intervenir el rozamiento con el aire, se han calificado como correctas. Tan solo se han contabilizado como respuestas equivocadas las de aquellos alumnos y profesores que incluyen la velocidad de lanzamiento de la pelota sin ningún tipo de aclaración.

Los resultados obtenidos con la cuestión enunciada de esta forma, fueron:

De los 58 alumnos de Magisterio, sólo cuatro (el 6.9%) contestaron correctamente. Los restantes contestaron erróneamente haciendo intervenir como factores determinantes sin ninguna otra aclaración a la distancia que recorre la pelota hacia arriba, a la velocidad con que se lanza, a la distancia existente entre los corredores, etc. A continuación reproducimos textualmente algunos de los comentarios con que los alumnos justifican sus respuestas erróneas. (Hay que indicar que a estos alumnos se les indicó que era necesario el que justificasen lo mejor posible sus respuestas):

"Dependerá de la velocidad vertical que se le dé a la pelota ya que esta nos condiciona la altura a la que llegue la pelota y por lo tanto el tiempo que emplee en subir y bajar la pelota. Todo esto nos lleva a pensar que cuanto más velocidad mayor altura, el tiempo que tardará en subir y bajar será mayor y así la podrá coger uno u otro de los corredores que van detrás."

"La pelota, que es lanzada hacia arriba por el corredor A, solo tiene desplazamiento vertical (sube para después volver a bajar por la fuerza de su peso, es decir según la atracción de la gravedad), no horizontal. Entonces, si se considera que los corredores siguen desplazándose horizontalmente, forzosamente la pelota la tendrá que recoger los jugadores B o C que van detrás del que la lanzó. Dependiendo que sea B o C de:

- velocidad con que se lanzó → hará más o menos recorrido vertical.
- velocidad de los corredores B y C".

"Dependerá del peso de la pelota. Cuanto más pese más rápido bajará. $P = mg$. De la fuerza con que ha sido lanzada. De la acción de la gravedad (ligada al peso y diferente según la altitud). De la velocidad de los corredores.

De los 34 alumnos del C.A.P. hubo tres que contestaron aceptablemente. De los 31 profesores de Física y Química de enseñanza media hubo tan solo dos que contestaron correctamente.

Los datos anteriores son pues suficientemente explicativos de la importante relación entre la metodología de la superficialidad y los errores conceptuales. De hecho bastaba, que se hiciese una pequeña reflexión tras pasar el cuestionario para que inmediatamente se reconociese el problema, sobre todo por parte de los profesores.

4-4 Resultados obtenidos en la contrastación experimental de que la enseñanza habitual de la Física y Química favorece la utilización de la metodología de la superficialidad.

Para comenzar expondremos los resultados obtenidos con el punto 4-a (pág 35) donde se trataba de comprobar que una gran parte del profesorado en general, refuerza con su propio comportamiento habitual, las tendencias metodológicas espontaneas de los alumnos. Para ello fue diseñado el CUESTIONARIO VII (pág 84). Dicho cuestionario fue pasado a un total de 175 alumnos desde segundo de E.U.P. hasta C.O.U., en cuatro centros estatales distintos. Los resultados obtenidos se dan en la TABLA 16. Para una mayor claridad en la interpretación de dicha tabla hemos reproducido integramente el cuestionario, añadiendo a la derecha de cada una de las opciones posibles, el porcentaje de alumnos que se decantan por la misma, (entre parentesis viene como es habitual la desviación típica). Los resultados fueron obtenidos a finales del curso 84-85 y los mismos sugieren una imagen del profesor de enseñanza media excesivamente preocupado por la velocidad a que se dá el programa y poco dado a dedicar tiempo de la clase a otras cuestiones tales como la de una preparación previa de las pruebas, o simplemente dejar tiempo para que los alumnos manejen también en clase los nuevos conceptos que se introducen.

TABLA 16. Correspondiente al Cuestionario VII.

(Algunos aspectos sobre el comportamiento metodológico habitual del profesorado)

1º) ¿Los profesores suelen dedicar los días anteriores a un examen, alguna clase destinada a revisar los conceptos más importantes, resolver posibles dudas, etc?

nunca;	2,3(1.1)	a menudo;	32,6(3.5)
casi nunca;	17,7(2.9)	siempre;	7,4(2.0)
a veces;	40,0(3.7)	no lo sé;	0

2º) ¿Cuanto tiempo suelen dejar para realizar los exámenes?

mucho menos del necesario;	10,9(2.4)	justo el necesario;	28,0(3.4)
menos del necesario;	57,1(3.7)	más del necesario;	4,0(1.5)
no lo sé;	0	mucho más del necesario	0

— sigue —

Tabla 16. (Continuación)

3º) ¿Has observado si los profesores suelen anotarse las incidencias de la clase? (Tareas propuestas a los alumnos, punto en donde se terminó la clase...)

nunca;	12,6(2.5)	a menudo;	13,1(2.6)
casi nunca;	23,4(3.2)	siempre;	1,7(1.0)
a veces;	36,0(3.6)	no lo sé;	13,2(2.6)

4º) Cuando hacen una pregunta a algún alumno. ¿Suelen dejarle tiempo para pensar la respuesta?

muy poco tiempo;	17,7(2.9)	bastante tiempo;	20,0(3.0)
poco tiempo;	59,4(3.7)	mucho tiempo;	0
no lo sé;	2,9(1.3)		

5º) La velocidad a la que suelen dar los temas es:

muy grande;	14,5(2.7)	lenta;	1,7(1.0)
grande;	53,1(3.8)	moderada;	30,3(3.5)
muy lenta;	0	no lo sé;	0,5(1.0)

sigue

— — — — — Tabla 16. (Continuación) — — — — —

62) *¿Suelen dejar tiempo para que los alumnos manejen y asimilen durante la clase los nuevos conocimientos y conceptos a medida que se van introduciendo?*

mucho menos del necesario;	21,7(3.1)	justo el necesario;	16,0(2.8)
menos del necesario;	62,3(3.7)	más del necesario	0
mucho más del necesario	0	no lo sé;	0

En el apartado anterior se mostraba que el hecho de pasar un cuestionario sobre errores conceptuales como pre-test y posteriormente explicar con todo detalle las respuestas consideradas correctas así como los errores más comunes, alertando a los alumnos sobre la necesidad de ser cuidadosos etc, no bastaba para que al cabo de dos meses no volviesen los alumnos a caer en parecidos o idénticos errores. A pesar de estas primeras evidencias, cabría preguntarse si una atención más continuada e insistente por parte del profesor, al tema de los errores conceptuales, sería capaz de producir mejoras más significativas. Desde nuestro punto de vista, la importancia de la metodología de la superficialidad es tan grande que estas mejoras no serían verdaderamente significativas a menos que dicha metodología fuese superada. Para comprobar esto experimentalmente se diseñó el DOCUMENTO 1 (pág 86) y se recurrió a cuatro profesores de Física y Química de enseñanza media (dos de centros privados y otros dos de centros estatales) para colaborar con nosotros. Recordemos que en el documento se les pide prestar durante todo el curso una atención especial a los errores conceptuales cometidos por los alumnos con el objeto de tratar de eliminarlos en todo lo posible. Este documento fue distribuido y comentado ampliamente con los profesores a principio de curso (aunque sin referirnos para nada a cuestiones metodológicas).

Al final del curso se pasó a los alumnos de estos profesores un cuestionario sobre errores conceptuales. (CUESTIONARIO VIII) (pág 89), Este fue pasado a un total de 172 alumnos de segundo de B.U.P. (cinco cursos de tres centros) , siguiendo la misma metodología que con otros cuestionarios anteriores, es decir: sin dar tiempo límite, avisando que podían hacerse cuantas aclaraciones se creyesen oportunas etc.

Los resultados obtenidos con estos cursos "experimentales", se reproducen a continuación en la TABLA 17, donde se dan para cada una de las cuestiones los porcentajes de respuestas equivocadas (calculados sobre el total de los alumnos que responden). En dicha tabla se incluyen también los resultados obtenidos para el mismo cuestionario con un total de 79 alumnos de segundo de B.U.P. "no tratados" ó "grupo de control". Esto se realizó un año después, a final del curso 85-86 y corresponde a dos grupos de segundo de B.U.P. de dos centros estatales de enseñanza media distintos a los hasta entonces contactados.

TABLA 17. Correspondiente al Cuestionario VIII.

(Metodología de la Superficialidad).

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 89)

Curso	N	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
2º B.U.P Experim	172	98,1 (1.0)	88,0 (2.5)	81,2 (3.0)	68,8 (3.5)	98,3 (1.0)	71,8 (3.4)
2º B.U.P Control	79	91,0 (3.2)	85,8 (3.9)	82,7 (4.3)	72,7 (5.0)	97,4 (1.8)	68,2 (5.2)

Como puede constatarse sin más que observar los resultados de la tabla, los porcentajes de errores conceptuales cometidos, siguen siendo muy altos y parecidos a los obtenidos mediante las mismas cuestiones con otros alumnos del mismo nivel. Particular atención merecen los resultados de la primera cuestión de Química, la cual fue utilizada aquí por vez primera. (aunque ya ha sido comentada en la pág 47).

Mediante el cálculo de la X^2 , obtenemos $X^2 = 0.40$. Como el valor dado por la tabla para cinco grados de libertad y $\alpha = 0.05$ resulta ser de 11.07, concluimos que las diferencias encontradas no pueden considerarse significativas, ya que hay más de un 5% de probabilidad de que se deban a oscilaciones aleatorias, lo cual pues, corrobora nuestra hipótesis.

Para terminar, diremos que la dificultad de modificar los preconceptos incluso cuando se presta atención a los mismos, es algo sobre lo que también están de acuerdo otros autores. Así por ejemplo, Engel y Driver (1986), señalan que:

"Desafortunadamente hay evidencias de que algunas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando la enseñanza ha sido deliberadamente estructurada para incorporar o confrontar las ideas de los alumnos"

Las evidencias a que se refieren Driver y Engel, se basan en algunos casos en un indudable soporte empírico, como ocurre con la tesis doctoral de Hewson (Hewson y Hewson, 1983), en donde se utilizó un grupo experimental de 46 estudiantes con los que se trabajaron los conceptos de masa, volumen y densidad, utilizando un modelo de enseñanza basado en estrategias de cambio conceptual. Los resultados obtenidos fueron comparados con los de otro grupo similar, de 44 estudiantes, a los que se les impartieron las clases según el modelo tradicional. Como resultado se obtuvo que aunque la adquisición de los conceptos había sido mejor en el grupo experimental que en el de control; no se había conseguido todavía una buena comprensión de los conceptos y se hacía necesario el proceder a una mejora en la efectividad del modelo. Análogamente podemos citar los

trabajos de Fredette y Lockhead (1980) acerca de los preconceptos sobre la corriente eléctrica. Dichos autores se manifiestan partidarios de utilizar cuestiones en clase, en donde se puedan poner de manifiesto los preconceptos de los alumnos, pero al mismo tiempo dudan de que unos pocos minutos de instrucción verbal, puedan realmente eliminarlos y sugieren que se debería de dedicar para ello, más tiempo, a la vez que una implicación más activa del estudiante.

Nuestra aportación en este aspecto, ha consistido precisamente en mostrar la estrecha relación existente entre los preconceptos de los alumnos y la metodología del sentido común, de forma que las dificultades encontradas en superar el problema de los errores conceptuales, pueden ser efectivamente explicadas, por el hecho de que no se incide de forma apreciable en la superación de dicha metodología, que juega un papel esencial tanto en el origen como en la consolidación de los preconceptos. (Gíl y Carrascosa, 1985).

4-5 Recapitulación y primeras conclusiones

Al comenzar este trabajo nos planteamos inicialmente cuales podían ser las principales causas de la gran abundancia y persistencia de los errores conceptuales en Física y Química, no sólo en el alumnado sino también entre parte del propio profesorado de enseñanza media. A lo largo del segundo capítulo se expusieron los distintos enfoques teóricos existentes en la actualidad sobre este problema y se intentó situar y fundamentar nuestra propia hipótesis de partida según la cual el problema se debe principalmente a que la didáctica habitual no tiene en cuenta los esquemas conceptuales de los alumnos ni sobre todo su metodología connatural de trabajo o "metodología de la superficialidad".

Para confirmar esta primera hipótesis se recurrió a un diseño de aborde múltiple en el que se han utilizado varios cuestionarios con diversas cuestiones de Física y Química implicando a un total de 2397 alumnos, 268 profesores en formación y 195 profesores de Física y Química de enseñanza media en activo. En el diseño, la hipótesis fue estructurada en cuatro puntos principales y de estos se derivaron a su vez catorce consecuencias susceptibles de ser contrastadas experimentalmente. Seguidamente y a modo de breve recapitulación, destacaremos algunos de los resultados obtenidos.

1º) Los alumnos de diferentes niveles dan sistemáticamente los mismos tipos de respuestas erróneas, en porcentajes muy altos y afectando a diversos dominios de la Física y Química. Así por citar algunos ejemplos, el 60% de los alumnos de primer curso de magisterio de ciencias utilizan reiteradamente la asociación fuerza / velocidad. Más del 70% los alumnos del C.A.P, confunden cantidad con concentración y más del 70% de los de 2º de B.U.P piensan en las órbitas que describen los electrones según el modelo atómico de Bohr tienen existencia real independiente de que haya o no electrones en ellas.

2º) Las respuestas erróneas de los alumnos son reproducibles, es decir, volvemos a obtener porcentajes similares cuando la misma

cuestión diseñada para detectar un determinado error conceptual, es pasada a muestras distintas, incluso con notables intervalos de tiempo entre los países. (ver Tabla 3 pág 100).

- 3º Las explicaciones que los alumnos dan a sus respuestas, son muy semejantes haciendo referencia a unas ideas comunes que las orientan. Así podemos referirnos por ejemplo a las diversas cuestiones sobre el concepto de fuerza en donde se pone de manifiesto la idea de que los objetos en reposo no pueden ejercer fuerzas, o se explican los movimientos "no naturales" mediante fuerzas exteriores en el mismo sentido que la velocidad, o bien a la idea de que en una combustión desaparece parte de la masa, etc.
- 4º Los errores conceptuales no son típicos de los alumnos más jóvenes sino que se repiten también entre alumnos de niveles superiores e incluso entre parte del propio profesorado. Así podemos destacar por ejemplo los resultados de la cuestión 3ª en la Tabla 4 (pág 107), en la que se pide dibujar las fuerzas reales que actúan sobre una masa en un tiro oblicuo y en un péndulo cónico. En dicha cuestión el porcentaje de error en alumnos de C.O.U, en alumnos del C.A.P, y en profesores de enseñanza media, todos ellos de ciencias, resultó siempre entre el 60% y el 98%.
- 5ª Los porcentajes de errores conceptuales siguen siendo elevados aunque se pase el cuestionario muy poco después de haber sido explicada en clase la materia donde se trata específicamente el o los conceptos implicados en el cuestionario. (ver a este respecto los resultados de las Tablas 1 y 2 (págs 93 y 95), que responden a estas condiciones).
- 6ª) El grado de seguridad con que se cometen los errores conceptuales es normalmente elevado y muy particularmente en el campo de la mecánica. A este respecto podemos citar por ejemplo el caso de los alumnos de 2º de Químicas que en la cuestión primera del cuestionario II, sobre un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba,

el 80% afirma que existe una fuerza ascendente , pero es que además el 83.3 % de estos alumnos califican la seguridad en su respuesta con una nota igual o mayor de 8 (dentro de un rango que va desde cero a diez).

A la vista de los resultados anteriores podemos admitir pues, que los preconceptos de los alumnos existen realmente, no siendo posible el atribuir los errores conceptuales a cuestiones tales como simples olvidos, respuestas dadas al azar, etc.

Por otra parte al realizar un análisis de 63 libros de texto entre séptimo de E.G.B, y C.O.U, de entre los más utilizados habitualmente, y de un gran número de exámenes propuestos a lo largo de varios años, pudimos constatar que:

7a) El porcentaje de textos y de exámenes en donde no se propone ninguna actividad que permita mostrar la existencia de posibles preconceptos era en general siempre superior al 90%.

Si admitimos la evidente relación entre el tipo de texto que se utiliza y la clase de enseñanza impartida, así como el hecho de que los profesores ponen en los exámenes precisamente aquello a lo que le dan mayor importancia, podemos concluir que la enseñanza habitual ignora el problema de los errores conceptuales y en consecuencia ni siquiera se plantea su posible tratamiento.

En el capítulo dos, se intentó también fundamentar teóricamente la estrecha relación entre los preconceptos de los alumnos con lo que hemos denominado metodología de la superficialidad. Para obtener datos experimentales al respecto, se elaboraron dos cuestionarios (el V y el VI, págs 77 y 79 respectivamente), a utilizar como pre-test y post-test en diversas condiciones. Igualmente se analizaron algunos tipos de explicaciones de los alumnos a sus respuestas, y también se utilizaron cuestiones diseñadas específicamente para mostrar el grado de operativismo mecánico etc. Algunos de los resultados fueron:

- 8a) Los alumnos (y también los profesores) emplean brevísimos tiempos en la cumplimentación de los cuestionarios. Ni estos tiempos, ni tampoco el porcentaje de respuestas erróneas cometidas, cambian por el hecho de advertir o no sobre la facilidad de equivocarse, pasar un cuestionario como pre-test y luego el otro como post-test, etc.
- 9a) El porcentaje de alumnos que incluye comentarios a sus respuestas a pesar de que se les invitaba previamente a hacerlo, fue siempre muy bajo, no superando en ningún caso el 13%.
- 10a) Existe una fuerte tendencia a proceder inmediatamente a la sustitución numérica de datos en fórmulas sin cuestionarse el campo de validez de éstas, las condiciones imperantes en el problema, la coherencia del resultado etc. Así incluso entre los mismos alumnos del C.A.P. y profesores de enseñanza media se dió este tipo de comportamiento ante la resolución de una sencilla cuestión de cinemática. (ver pág 144).
- 11a) Basta cambiar el enunciado de una cuestión sin alterar la naturaleza del problema planteado para que al no ser "reconocida" se vuelva a caer en un error conceptual que posiblemente se creía ya superado (ver pág 145).

Los resultados anteriores apoyan pues la idea de que efectivamente la metodología de la superficialidad se halla íntimamente asociada a la comisión de los errores conceptuales.

Para profundizar más en el estudio de la metodología de la superficialidad y en su importancia, se realizó una encuesta entre los alumnos de B.U.P. y C.D.U. a los que se pasó un cuestionario (el VII, pág 84), destinado a poner de manifiesto algunas características del comportamiento metodológico del profesorado de enseñanza media en general. Así mismo se contactó con un grupo de profesores de Física y Química entre los que se distribuyó el DOCUMENTO 1 (pág 86), para realizar una experiencia con alumnos de segundo de B.U.P; consistente en que dichos profesores

prestasen durante sus clases una especial atención hacia el problema de los errores conceptuales entre sus alumnos y tratarasen de resolverlo. A continuación citaremos algunos de los resultados obtenidos:

- 12a) Según el 68% de los alumnos los profesores dejan poco tiempo para la realización de exámenes. Según el 66% de estos mismos alumnos la velocidad a la que se dan los temas es grande o muy grande. El 75% opinan que los profesores no dejan tiempo para que el alumno piense la respuesta cuando le hacen una pregunta en clase, etc
- 13a) los porcentajes de error cometidos por los alumnos de los profesores que prestan atención al problema de los errores conceptuales, no fueron significativamente diferentes de los restantes. (ver tabla 17 en la pág 152)

Así pues, el profesorado en general y no solo el de ciencias, favorece con su propio comportamiento, la metodología de la superficialidad. Esta por otra parte es tan importante que la simple intención de incidir en los errores conceptuales sin proceder a su vez a un profundo cambio metodológico, no puede dar resultados aceptables.

Finalmente podemos concluir, que a la vista de los resultados obtenidos -algunos de los cuales hemos destacado aquí- se puede afirmar la validez de nuestra primera hipótesis, validez que se apoya no sólo en cada uno de los resultados , sino sobre todo, en la coherencia de todos ellos, obtenidos mediante distintos abordajes experimentales.

SEGUNDA PARTE

*UNA PROPUESTA PARA LA SUPERACION
DE LOS ERRORES CONCEPTUALES*

5. EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

Recordemos que, según nuestra primera hipótesis, la gran abundancia y persistencia de los errores conceptuales en Física y Química se debía fundamentalmente a que la didáctica habitual no tiene en cuenta los esquemas conceptuales de los alumnos, ni tampoco -y sobre todo- su metodología "connatural" de trabajo o metodología de la superficialidad (Gil y Carrascosa, 1985). Los resultados obtenidos, expuestos a lo largo de la primera parte de este trabajo parecen corroborar ampliamente la validez de esta hipótesis. La plena confirmación exige sin embargo, mostrar que efectivamente, un cambio en la metodología de trabajo del alumno, produce una disminución significativa e importante de los errores conceptuales. Consecuentemente, se hace necesario la búsqueda de un tipo de enseñanza que supere la metodología de la superficialidad o del sentido común, habitualmente utilizada por el alumno. A este respecto recordemos que, tal y como señalábamos en la primera parte de este trabajo, existe un cierto isomorfismo entre el desarrollo histórico de la ciencia y la formación de la "ciencia intuitiva" en el niño. Desde esta perspectiva pueden comprenderse las dificultades encontradas en conseguir un cambio conceptual en los alumnos, que sería así equivalente (salvando las distancias), a una revolución científica o en otras palabras, un cambio de paradigma. No es pues de extrañar que al analizar algunas de las implicaciones de este paralelismo algunos autores como Hewson (1981) se refiriesen a la complejidad del aprendizaje de la Ciencia y a que la analogía entre las disciplinas científicas y el cambio conceptual ha sido fructífera y ha proporcionado un marco adecuado para el análisis del aprendizaje de las ciencias. También otros autores como Nussbaum y Novick (1982), se expresan en parecidos términos al apuntar la necesidad de que los estudiantes expongan sus propias ideas y puntos de vista y que el profesor haga ver como muchas de esas ideas funcionan aparentemente bien en multitud de situaciones, para conseguir así que el alumno se de cuenta de verdad de cual es su "paradigma conceptual de partida".

No obstante desde nuestro punto de vista, como hemos venido insistiendo, el cambio conceptual no es factible a menos que vaya acompañado a su vez por un profundo cambio metodológico. En efecto, como ya vimos anteriormente, es precisamente en el area de la mecánica en donde los preconceptos de los alumnos son más persistentes y en donde dichos alumnos dan muestra de una mayor seguridad acerca de la validez de los mismos. Por otra parte se trata de preconceptos que recuerdan poderosamente ciertas ideas presentes en la mecánica Aristotélico-Escolástica, que también fueron como es sabido, muy difíciles de cambiar. Ninguna de estas similitudes cabe atribuir las al azar. En la base de la mecánica Aristotélico-Escolástica -vigente durante siglos- se halla una tendencia a generalizar acriticamente observaciones cualitativas realizadas en condiciones poco controladas -no en vano se la califica como la física del sentido común- Esta tendencia no sólo es detectable en el paradigma pre-clásico, sino también (Piaget, 1970), en la forma de razonar de niños y adolescentes y es en ella en donde hay que buscar el origen y la consolidación de los preconceptos.

Consecuentemente y en base al paralelismo considerado, cabe preguntarse en qué condiciones se pudo dar el cambio de paradigma hacia el establecimiento de la física clásica. A este respecto hemos de resaltar de nuevo, que dicho cambio pudo efectuarse gracias fundamentalmente a que se pusieron en cuestión las ideas que hasta entonces habían sido consideradas como "seguras", basadas en evidencias de "sentido común" abriéndose paso una nueva metodología que aunó la creatividad del pensamiento divergente con el rigor de la contrastación de hipótesis a través de experimentos realizados en condiciones cuidadosamente controladas. Parece entonces razonable pensar que lo mismo debe de ocurrir con nuestros alumnos: Solamente si estos son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología, en donde tengan ocasión de emitir hipótesis, diseñar experimentos, analizar cuidadosamente sus resultados etc podrán superar la metodología de la superficialidad haciendo posible los profundos cambios conceptuales que en ocasiones exige la correcta adquisición de conocimientos científicos, como ocurre

particularmente en el caso de la mecánica, que se muestra así como un poderoso instrumento para conseguir el cambio metodológico y conceptual.

Se hace pues necesario diseñar un modelo de enseñanza en el que se reproduzcan las características esenciales de la metodología científica ya que tal y como vimos en el capítulo 2 (pág 15), ni la enseñanza tradicional basada fundamentalmente en la transmisión verbal de contenidos por parte del profesor, ni la enseñanza por descubrimiento inductivo y autónomo, consiguen este objetivo.

No obstante, el término "metodología científica", resulta ser a menudo demasiado ambiguo e impreciso (Keislar y Shulman, 1966) y de hecho ha conducido a interpretaciones excesivamente simplistas del mismo. Este es el caso por ejemplo del modelo de aprendizaje "por descubrimiento". Como ya se comentaba en el capítulo segundo, en dicho modelo se hace hincapié en la gran importancia de que el alumno practique la metodología científica. Se trata en principio de una intuición correcta, fruto seguramente del fracaso obtenido por una enseñanza centrada de forma casi exclusiva en los contenidos. Sin embargo la visión que se tiene de la metodología científica viene caracterizada esencialmente por impulsar la actividad autónoma de los alumnos, llegando a rechazar cualquier tipo de guía o dirección en el aprendizaje y prestando muy poca atención a la clase de contenidos. Así mismo se desarrolla un planteamiento excesivamente empirista en donde lo único importante al parecer, es que el alumno realice gran cantidad de trabajos prácticos bajo la ingenua premisa de que la solución autónoma a los problemas ocurre necesariamente mediante el razonamiento inductivo a partir de datos empíricos. (Ausubel 1978). Con ello se deforma la naturaleza de la investigación científica (Kyle 1980); (Giordan 1978); (Leboutet 1973), convirtiendo los trabajos prácticos en meras manipulaciones donde quedan totalmente ausentes los aspectos claves y más creativos del trabajo científico como son la emisión de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, y los análisis críticos (Colmez et al 1978).

Es preciso pues, proceder a una revisión radical de la naturaleza de la investigación científica, a la luz de las aportaciones de la moderna epistemología y sus implicaciones en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias, saliendo al paso de visiones incorrectas, pero muy generalizadas entre el profesorado (Bileh y Malik 1977); (Ogunnigi y Pelia 1980); (Rowell y Cauwthron 1982); (Gíl 1983).

5-1 Implicaciones de las características esenciales de la metodología científica, en una enseñanza de las ciencias coherente con la misma.

Lógicamente no vamos a realizar aquí una exposición en profundidad sobre la naturaleza del trabajo científico. Tampoco nos vamos a referir a los debates y , a veces, profundas discrepancias que se dan en los diversos análisis que se hacen del mismo. Se pretende únicamente el resaltar algunos aspectos esenciales en los que se da una mayor coincidencia entre los epistemólogos de muy distintas orientaciones (Bunge 1972); (Cohen y Nagel 1973); (Hempel 1976); (Popper 1962); (Piaget 1969). Es necesario aclarar previamente que existe un rechazo general a la idea misma de Metodo Científico si se entiende por tal un conjunto de reglas perfectamente definidas destinadas a ser aplicadas mecánicamente. Sin embargo existe un acuerdo básico en la mayoría de los autores en torno a ciertas características esenciales de la metodología científica, que enunciamos a continuación:

- a) Importancia de los paradigmas teóricos vigentes.
- b) Relativización del papel del experimento.
- c) Caracter social y colectivo de la investigación científica.

Las características anteriores tienen, en una enseñanza de las ciencias que pretenda ser coherente con la metodología científica, las siguientes implicaciones respectivamente:

- 1a) Importancia de los esquemas conceptuales del alumno.
- 2a) Papel del pensamiento divergente.
- 3a) Trabajo colectivo y orientado de los alumnos.

Seguidamente pasaremos a comentar cada una de las carecterísticas anteriores junto con sus equivalencias correspondientes.

Importancia de los paradigmas teóricos vigentes. Los esquemas conceptuales del alumno.

Se trata de resaltar el rechazo existente hacia lo que Piaget denomina "el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos" (Piaget 1971), es decir, el rechazo de un empirismo que concibe el origen de los conocimientos como resultado de la inferencia inductiva a partir de "datos puros". Como señala Bunge (1978), los datos no son un "a priori" y no pueden considerarse como un punto de partida "objetivo y neutral". Por el contrario, toda investigación viene marcada por el paradigma teórico vigente, que juega un importante papel desde la misma búsqueda de datos hasta la interpretación final de los resultados. Es preciso insistir en la importancia de los paradigmas teóricos como punto de partida y término de toda investigación (Gil, 1983). Se trata de un proceso complejo, ya que los resultados de las investigaciones científicas inciden en el cuerpo teórico de conocimientos existente, lo que supone no solo su ampliación y revalidación como habitualmente ocurre, sino también, a veces, ciertos replanteamientos o retoques, que en alguna ocasión han implicado cambios revolucionarios y el surgimiento de nuevos paradigmas teóricos (Kuhn 1971); (Althousser 1977). Este fue el caso, como es sabido, del surgimiento de la física clásica, tras la crisis de la Aristotélico-Escolástica, y también posteriormente, de la física y química modernas gracias al establecimiento de la mecánica cuántica.

Lógicamente para que en una teoría se produzcan remodelaciones o retoques, y más aún profundos cambios, no es suficiente el hecho de que los resultados de algún experimento aislado no puedan explicarse con los conocimientos existentes. Es pues necesario, no dar a los alumnos la sensación de que las teorías científicas son simples conjeturas similares a las que los alumnos pueden elaborar y que normalmente pueden ser contrastadas mediante simples observaciones directas. Por el contrario, los alumnos han de ser conscientes de que las buenas hipótesis no se abandonan inmediatamente como consecuencia de unos pocos resultados negativos y de que aunque el papel del experimento es crucial, una teoría sólo se abandonan cuando existe una muy clara evidencia en contra de la

misma y/o una concepción alternativa (Gíl, 1986). Así pues, el paradigma teórico vigente en cada momento, se defiende de los cambios. El que esto ocurra (nos referimos naturalmente a una defensa no dogmática ni inquisitorial como ha veces ha sucedido en la historia de la Ciencia), no solo no es perjudicial sino lógico y positivo ya que de lo contrario la más pequeña dificultad podría suponer un retoque o incluso un abandono injustificado del paradigma, y por otra parte solo así se consigue tanto el perfeccionamiento del paradigma como un mayor rigor y precisión en la crítica al mismo.

Por otra parte resulta evidente que incluso la simple observación de un fenómeno puede perfectamente resultar irrelevante a no ser que previamente exista un problema planteado que no haya podido ser resuelto con los conocimientos existentes. A lo largo de la historia de la Ciencia se han dado significativos ejemplos que corroboran la afirmación anterior. Este fue el caso de las experiencias de producir calor por frotamiento, que era un fenómeno conocido por muchos hombres de ciencia en los siglos 17 y 18 sin que hubiese llamado la atención de ninguno. Fué necesario que se plantease un problema -en este caso la existencia o no del calórico- para que la observación de este fenómeno le resultase a Thompson relevante.

En definitiva pues, podemos afirmar que ninguna investigación, ni siquiera las más elementales, parte de cero, y que ni las hipótesis ni las teorías científicas son síntesis inductivas de experiencias. Insistimos en este aspecto porque a pesar del acuerdo básico que existe al respecto entre los epistemólogos, lo cierto es que entre el profesorado de ciencias persiste por el contrario una visión marcada por un empirismo extremo, que se halla sorprendentemente muy generalizada (Giordan 1978). Esta situación trae como consecuencia que en los mismos libros de texto, cuando se habla sobre las características del trabajo científico se haga desde una óptica marcadamente positivista. A modo de ejemplo reproducimos algunos párrafos, escogidos de entre los que pueden encontrarse frecuentemente en el tema que específicamente sobre la metodología científica, se incluye en los libros de texto de 2º de BUP actualmente:

1^{er} ejemplo (Soler et al, 1981):

"En el método científico podemos distinguir varias etapas:

1 *Mediante la observación casual o provocada se acumulan abundantes datos sobre un cierto fenómeno. Es el objeto por ejemplo de la Química descriptiva. Para esta observación se idealiza un hecho concreto objeto de estudio.*

2 *La mente analiza los hechos y mediante aceptable aunque incompleta inducción, abstrae la relación esencial de los datos. Fruto de esta generalización será una ley: La atracción de dos cargas eléctricas opuestas es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia, por ejemplo.*

3 *Surge entonces la necesidad de buscar una explicación. No precisamente ¿qué son las cosas?, sino ¿por qué se comportan así?. Es la hipótesis que da luz a las teorías.*

4 *De las teorías se deducen consecuencias que habrá que contrastar con los hechos"*

2^o ejemplo (Fidalgo, 1984):

"Los caminos que sigue el investigador son múltiples pero generalmente se reducen a este proceso:

Observación → experimentación → (leyes, teorías) → comprobación"

3^{er} ejemplo (Lasheras, 1978):

"El trabajo del científico no termina con el establecimiento de las leyes. Para explicar las leyes obtenidas se hacen suposiciones o hipótesis. De estas hipótesis se deducen consecuencias que se habrán de comprobar experimentalmente.

Párrafos como los anteriores, insistimos, no son difíciles de encontrar en los libros de texto. Esto es de por sí suficientemente significativo, y por ello no podemos por menos que reproducir la opinión de Gould (citado por Hodson, 1984), cuando refiriéndose a este mismo problema señala:

"Enseñar que el trabajo de los científicos tiene estas características es ya suficientemente grave, pero lo que resulta más rechazable es que los profesores de ciencias intenten ahormar el comportamiento de sus alumnos a esta misma imagen".

En la introducción de este capítulo, comentábamos el paralelismo existente entre la evolución histórica de los conocimientos científicos y la formación de preconceptos en el niño. En la contrastación de la primera hipótesis quedó patente también cómo la interpretación superficial de fenómenos cotidianos es responsable directa de los preconceptos científicos, los cuales se estructuran en la mente de los alumnos formando verdaderos esquemas conceptuales. Dichos esquemas pueden ser muy resistentes al cambio, como ocurre principalmente en el área de la mecánica. De acuerdo con ello, la introducción de los alumnos a la mecánica Newtoniana, debería de ser contemplada como un verdadero cambio conceptual (Nussbaum y Novick, 1980); (Gilbert et al 1982); (Carrascosa, Gil y Gonzalez, 1982). Es decir, se trata, no simplemente de salir al paso de algunos errores, sino más bien de provocar un cambio que para los alumnos presenta unas características y dificultades similares, en cierto modo, a las de una verdadera revolución científica. Para ello es necesario que el profesor sea consciente de que al igual que ninguna investigación científica parte de cero, tampoco los alumnos llegan a clase "cuam tabula rasa" y como el mismo alumno no es consciente de su propio esquema conceptual, es preciso en primer lugar que llegue a darse cuenta de la coherencia de sus preconceptos haciendo que los utilice para abordar situaciones en las cuales parecen funcionar. La emisión de hipótesis por parte del alumno, juega un papel fundamental para conseguir este objetivo inicial. Sólo después de que el alumno se haya percatado de su esquema conceptual de partida será cuando podrá hacerse uso de la idea Piagetiana

de "conflicto cognoscitivo", planteando situaciones en las cuales el esquema conceptual de los alumnos produce resultados "contradictorios con los hechos". (Leboutet 1973); (Kavanagh y Moomaw 1981). Es necesario detenerse el tiempo que haga falta en esta fase. No se trata de reducirla a aclaraciones del profesor esperando la rápida comprensión de sus alumnos (como tampoco cabe esperar que los resultados de un experimento o un hecho inexplicable basten por sí solos para derribar toda una teoría científica). Por el contrario, se trata de dejar que los alumnos manejen su propio esquema conceptual y lo defiendan agotando sus posibilidades para dar respuesta a las interrogantes planteadas. Todo ello está en las antípodas del rechazo con que muchos profesores suelen acoger los "errores" de sus alumnos y solamente así podrá el alumno comprender la necesidad de modificar, no ya algunos de sus errores, sino toda una visión dotada de una cierta coherencia interna, sustituyéndola por otra nueva, que ha de ser elaborada partiendo de la situación de crisis planteada y que comporta la introducción de nuevos conceptos, profundos cambios de significado de los ya preexistentes, etc. Todo ello implica que los nuevos conceptos sean introducidos de forma que se favorezca su integración en el nuevo esquema conceptual, y no de forma puramente acumulativa, inestructurada. Dicho de otra forma: una teoría científica no desaparece del todo hasta que su lugar no ha sido ocupado totalmente por una nueva que la sustituya. De la misma forma, la superación efectiva de un esquema conceptual exige que se disponga de otro que lo reemplace con ventaja. Todo ello exige, desde luego, su tiempo, pero las ventajas que comporta compensan con creces los esfuerzos dedicados. En efecto, cuando un alumno asimila de forma efectiva un nuevo esquema conceptual, es capaz después, de progresos mucho más rápidos y provechosos. (de la misma forma que ha ocurrido con el desarrollo científico, cuando tras periodos de crisis profundas se han producido a continuación espectaculares avances).

Relativización del papel del experimento. Importancia del pensamiento divergente

Digamos de entrada, que el experimento es sin duda básico en cualquier investigación científica. Sin embargo en un planteamiento empirista aparece como casi lo único esencial de la metodología científica. Es necesario realzar la importancia de aspectos claves tan importantes por lo menos como la experimentación, pero que con frecuencia han sido relegados, erróneamente, a un segundo término. Se trata concretamente de la emisión de hipótesis, elaboración de diseños experimentales etc, que son precisamente las actividades en donde más se desarrolla la inventiva y los aspectos más creativos del trabajo científico.

Realmente la obtención de datos mediante evidencia experimental, ocupa un lugar central en el proceso de investigación, pero esta actividad sólo cobra sentido cuando responde a los intentos de contrastar unas hipótesis mediante la elaboración de unos diseños concebidos para tal propósito. En palabras de Hempel (1976):

"Al conocimiento científico no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado método de las hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio, y sometiendo luego estas a contrastación empírica".

Del análisis cuidadoso de los resultados -insistimos, de numerosos y concordantes resultados- será de donde se extraerá la conclusión de si se verifican o no las hipótesis de partida, pero ello no debe hacer olvidar el papel esencial del pensamiento divergente, de la creatividad, de la invención de hipótesis, etc. De hecho sin hipótesis no se puede hablar de verdadera investigación científica y una investigación no ordenada por hipótesis resulta desordenada y accidental (Van Dalen 1966); (Verma y Beard 1981).

Lógicamente pues, las implicaciones en la enseñanza de las ciencias consistirían precisamente en proponer a los alumnos este tipo de actividades. Naturalmente la emisión de hipótesis por parte de los alumnos, al igual que ocurre con los trabajos científicos, no es concebible si no es a partir de un paradigma teórico de partida (en este caso el esquema conceptual inicial del alumno). Ello hace de las actividades de emisión de hipótesis, una excelente ocasión para que el alumno pueda explicitar sus propias ideas. Una explicitación absolutamente necesaria no sólo para poder valorar su propio esquema conceptual de partida sino también para comprobar al final si sus preconceptos siguen persistiendo. (Aguilá, et al 1982). por otra parte ya hemos comentado en repetidas ocasiones a lo largo de este trabajo, que la superación de los errores conceptuales cometidos por los alumnos exige un profundo cambio metodológico que supere la metodología de la superficialidad con la que habitualmente suele abordar los problemas. Pues bien, son precisamente actividades como la emisión de hipótesis, acompañadas a su vez por otras como los planteamientos cualitativos previos, elaboración de diseños experimentales, contrastación experimental de las hipótesis, análisis críticos de los resultados obtenidos, etc, las que lógicamente pueden posibilitar este cambio de metodología y permitir así la superación del problema de los errores conceptuales. Además de esta forma habremos conseguido un objetivo que ya era solicitado bastantes años atrás (NSTA 1964): que el alumno aprenda ciencia y aprenda también a hacer ciencia.

En resumen, las actividades como la emisión de hipótesis, elaboración de diseños, etc, son insustituibles para desarrollar una metodología realmente coherente con la metodología científica y lo que es más, permiten poner de relieve la importancia que en el desarrollo del conocimiento científico tienen aspectos tales como la invención, la capacidad de plantearse nuevos problemas, la discusión de posibles alternativas válidas, etc, contribuyendo así a una formación menos rígida que presenta sin duda mas interés para los alumnos y puede ser una gran ayuda para solucionar el problema de la actitud negativa de muchos estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias (Gagné, 1970); (Jame y Smith, 1985).

Caracter social y colectivo de la investigación científica. Papel del trabajo colectivo y orientado de los alumnos

Finalmente nos referiremos al caracter social y colectivo del desarrollo científico, punto sobre el que también existe un acuerdo general. Dicho caracter se manifiesta no sólo en el hecho de que el esquema teórico de partida de toda investigación científica (paradigma teórico vigente), es la cristalización de la aportación de generaciones de investigadores, sino también en que la investigación científica responde cada vez más a estructuras institucionalizadas (Bernal 1967); (Kuhn 1971), en las que el trabajo de los individuos es orientado por líneas de investigación ya establecidas. Los investigadores suelen trabajar así en equipos que se caracterizan por tener una orientación determinada. La información se intercambia entre los investigadores y los diversos equipos mediante publicaciones, debates, congresos etc, de forma que cada vez más carece de sentido la idea de una investigación individual y autónoma. No obstante si es cierto, que en cada equipo siempre existe alguien más experimentado que realiza una labor, necesaria, de dirección impulsando y orientando el trabajo de los demás, etc.

Este caracter social y colectivo del desarrollo científico, tendría su equivalente en la enseñanza de las ciencias, en algo que aparece abundantemente tratado en la literatura pedagógica. Se trata del trabajo en grupos. Existen a este respecto textos ya clásicos como el de Cousinet (1968), las propuestas de distintos seminarios de renovación pedagógica como (Les mouvements de... 1972) o de seminarios en ciencias humanas como los de Roger Mucchielli (1969) y también textos concebidos especialmente para la educación básica y media (Bany et al 1970). También Piaget (1969, pp 200-207) pone énfasis en el carácter esencial que el trabajo por equipos ha adquirido en la práctica de la escuela activa afirmando que desde el punto de vista intelectual la cooperación es más apta para favorecer el intercambio real del pensamiento y la discusión, es decir, todas las conductas susceptibles de educar el espíritu crítico, la objetividad y la reflexión discursiva.

Un amplio panorama de las investigaciones realizadas en torno a la interacción de los alumnos, es ofrecido por Ausubel (1978 pp 480 y siguientes), que une a una amplia bibliografía sobre el tema, el análisis contrastado de los resultados obtenidos por diversos autores.

A este respecto, interesa destacar los siguientes puntos:

-Los miembros menos capaces del grupo podrán realizar más de lo que harían individualmente, en virtud de estar siendo estimulados y de poder adoptar las estrategias e ideas de los compañeros más capaces.

Habría que decir también que esta ventaja de los alumnos menos capaces (menos desarrollados intelectualmente hasta ese momento), no se obtiene causando un perjuicio a los alumnos más capaces. En efecto: es conocido por todos los que nos dedicamos a la enseñanza que el simple hecho de intentar explicar algo claramente a los demás es una ocasión inmejorable para darse cuenta de si uno mismo lo comprende. En palabras de Kapitza (1977):

"Para poder explicar un teorema a un camarada es preciso en primer lugar comprenderlo y es sobre todo durante la explicación que la insuficiencia de la propia comprensión se revela. Así pues los alumnos de talento, necesitan para su propio desarrollo, de otros camaradas con los que poder trabajar".

-La discusión, es el método más eficaz y realmente el único factible de promover el desarrollo intelectual con respecto a los aspectos menos establecidos y más controvertidos de la materia en estudio. Proporciona el mejor medio para ampliar los horizontes intelectuales del alumno, de estimular su pensamiento de fecundación cruzada, de esclarecer sus puntos de vista y de medir la validez lógica de estos conforme a las concepciones de los demás. Interactuar con sus compañeros ayuda también a superar el egocentrismo y la visión de los adultos como fuentes absolutas de verdad.

El párrafo anterior, es uno de los que mejor clarifica el carácter positivo del trabajo en grupos ya que es evidente que para los alumnos cualquier nueva tarea va a tener las características de poco establecida y controvertida y por lo tanto a menos que se pretenda una mera asimilación memorística, el trabajo de los alumnos en grupos aparece como el más adecuado.

Finalmente, señalaremos que el trabajo de los alumnos en grupo supone que ante cada problema planteado pueden generarse más fácilmente distintas soluciones alternativas (Mayfeld, 1976), y que precisamente la búsqueda de soluciones alternativas es una característica importante del trabajo científico.

A través de este apartado hemos visto pues, la necesidad de conseguir un cambio en la metodología de la superficialidad con que los alumnos suelen abordar los problemas. Hemos de resaltar, que muy recientemente se han publicado algunos trabajos en donde se realizan consideraciones muy semejantes a algunas de las aquí expuestas. Así Hashewh (1986), utiliza el término "metodología y epistemología del sentido común", con un sentido muy próximo a lo que nosotros hemos denominado metodología de la superficialidad (Carrascosa y Gil, 1985). Y no se trata únicamente de una convergencia puntual. Del mismo modo que nosotros hemos planteado la necesidad de concebir el aprendizaje como un cambio conceptual y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985; Gil, 1986) -profundizando así en las propuestas de Posner et al (1982)- Hashewh se refiere también a la necesidad del cambio metodológico en términos muy similares:

«Se pueden estudiar las clases de ciencias para determinar si esta epistemología (del sentido común), es puesta en cuestión y si se enseña o no una epistemología científica alternativa (...) Los componentes de la epistemología científica (...) son nuestra mejor garantía contra el uso semiautomático de las estrategias asimilativas del sentido común (...) Las condiciones externas que permiten el uso de dichas estrategias y creencias contribuyen a la persistencia de los preconceptos, mientras que

resulta posible enseñar la metodología y epistemología científica (...) para inhibir su persistencia.

Análogamente Driver (1986 b), señala que conseguir cambios en el pensamiento de los estudiantes, no implica únicamente un cambio en el contenido de sus ideas, sino también una apreciación de la naturaleza del razonamiento científico.

Llamamos la atención sobre estas semejanzas, porque se han alcanzado como fruto de trabajos independientes, lo que sin duda refuerza su validez como contribución a la emergencia de un nuevo paradigma de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Quizás lo esencial, es la importancia que se le da a la metodología científica en cuanto a sus implicaciones en dicho paradigma. Por nuestra parte, hemos intentado fundamentar la necesidad de elaborar un modelo didáctico que sea verdaderamente coherente con la metodología científica. Ello nos ha llevado a realizar un análisis crítico, de cuáles serían las características esenciales del trabajo científico y sus implicaciones en el proceso de enseñanza/aprendizaje. A continuación, se trata de detallar el modelo propuesto y ver cómo este puede ser efectivamente desarrollado en la práctica diaria de la clase.

5-2 Implicaciones curriculares del modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico.

¿Cómo llevar a la práctica todo lo visto en el apartado anterior?. Es decir: ¿Cómo podemos aproximar el aprendizaje de las ciencias a las características del trabajo científico?. En un reciente trabajo, Driver y Oldham (1986), basandose en un modelo constructivista del aprendizaje (ver pág 13), han subrayado explícitamente la *necesidad de concebir el curriculum, no como un cuerpo de conocimientos o habilidades sino como el programa de actividades a traves de las cuales los conocimientos pueden ser contruidos y adquiridos*. Esta es precisamente la orientación dada por el seminario de Física y Química del ICE de la Universidad de Valencia (Furió y Gil, 1978); (Gil, 1982), que ha venido elaborando lo que se denomina "programas guias de actividades" (Gil et al, 1980), (Calatayud et al, 1986)

La idea central que preside un programa guía es que cada tema -desde la introducción de conceptos a la discusión de las implicaciones sociales, pasando por la resolución de problemas o el trabajo experimental- se convierta en un conjunto de actividades debidamente engarzadas, a realizar por los alumnos estructurados en pequeños grupos, bajo la dirección del profesor.

La elaboración de un programa guía consiste en preparar dichas actividades de forma que su progresiva realización por parte de los alumnos, les permita elaborar y afianzar conocimientos, los cuales a su vez serán utilizados posteriormente por esos mismos alumnos en la resolución de nuevas actividades. Naturalmente todo este conjunto de actividades tiene que tener en sí mismo una lógica interna que evite el aprendizaje desconexo, y ha de cubrir el contenido del tema aprovechando además todas las ocasiones posibles de que los alumnos se familiaricen con la metodología científica. Ello exige una especial atención no solo a los trabajos prácticos de laboratorio, sino tambien a otros aspectos concretos como son la introducción de conceptos y la misma resolución de problemas, teniendo en cuenta las últimas y numerosas aportaciones de la

investigación didáctica en estos campos, todas ellas confluyentes en la necesidad de que se estructuren de forma que sean más acordes con la metodología científica. En efecto:

La utilización del modelo en la introducción de conceptos es clara y ya ha sido comentada detalladamente con anterioridad: Se trata de que antes de introducir nuevos conceptos el profesor conozca la existencia de posibles ideas previas que respecto a los mismos pueden tener sus alumnos, y diseñe actividades destinadas a explicitarlas para que ellos mismos puedan valorarlas y pueda procederse después a su sustitución. A este respecto las actividades en las que el alumno ha de emitir hipótesis pueden ser realmente útiles y pueden aprovecharse también para detectar si los objetivos de cambio conceptual han sido conseguidos.

En cuanto a los trabajos prácticos, que es en donde en principio podría parecer que los alumnos mejor pueden practicar la metodología científica, hemos de señalar que la mayor parte de las veces consisten en colecciones de recetas en las que se indica de manera muy pormenorizada lo que el alumno debe hacer, acompañadas en el mejor de los casos por preguntas sobre lo que se observa y los resultados que se obtienen. En la mayoría de los trabajos prácticos de cualquier nivel de enseñanza, se da una ausencia casi total de emisión de hipótesis (Gené y Gil, 1982 a; Gené y Gil, 1982 b; Gil y Payá, 1982), y lo mismo ocurre con los diseños experimentales (Mc Duffie, 1973) (lo cual es lógico ya que un diseño experimental sólo tiene sentido a partir de hipótesis que han de ser contrastadas, y si estas no existen, difícilmente se puede pensar en elaborar diseños). Incluso hay que constatar que habitualmente se presta escasa atención al análisis de los resultados (Tamir, 1977); (Pickering y Galstaub, 1977). Sin embargo es posible "dar la vuelta a la mayoría de los trabajos prácticos" y transformarlos en verdaderas investigaciones dirigidas por el profesor, concediendo a la emisión de hipótesis, elaboración de diseños, etc, la importancia que sin duda poseen. En este sentido han sido elaborados ya algunos textos (Calatayud et al 1980 a); (Calatayud et al 1980 b), donde las prácticas tradicionales son presentadas como pequeñas investigaciones.

Otro campo en donde es posible la aplicación de la metodología científica, es la resolución de problemas. En efecto, el fracaso en la resolución de los mismos ha sido interpretado por muchos autores como consecuencia de una incorrecta orientación didáctica, consistente fundamentalmente en la presentación de los mismos como simples ejercicios de aplicación y memorización. No obstante, es posible convertir la resolución de problemas en una ocasión privilegiada para poner en práctica la metodología científica y convertirse de este modo en una herramienta fundamental para conseguir el cambio metodológico. (Gíl y Martínez Torregrosa, 1983; Gíl y Martínez Torregrosa, 1984). La propuesta está orientada dentro de la óptica constructivista, hacia la superación del operativismo ciego consistente esencialmente en la sustitución precipitada de los datos numéricos en fórmulas, intentando acercar la resolución de los problemas a la investigación científica. Todo ello conlleva por ejemplo, el comenzar los problemas realizando un estudio cualitativo de la situación, precisando qué es lo que se busca, explicitando las condiciones que se consideran reinantes, emitir hipótesis fundadas sobre los factores de que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, elaborar y explicitar las estrategias de resolución antes de proceder a esta, realizar la resolución literal verbalizándola al máximo, justificando lo que se hace, analizar cuidadosamente los resultados, etc. Para una mayor información sobre resolución de problemas, nos remitimos a otros documentos de los mismos autores (Gíl y Martínez Torregrosa, 1987) en donde se desarrollan numerosos ejemplos.

El programa guía de actividades aparece de esta forma como un instrumento para desarrollar el modelo de enseñanza destinado a lograr un aprendizaje de las ciencias basado en el cambio conceptual y metodológico.

La forma de trabajo para la utilización de los programas guías con alumnos de enseñanza media, difiere de la que es habitual en las clases organizadas en pequeños grupos, consistente en proponer tareas de una cierta extensión que cada grupo realiza autónomamente -con las ayudas que puedan solicitar del profesor- para pasar a una puesta en común posterior

al término del trabajo. Este sistema, el cual hemos ensayado, presenta algunos serios inconvenientes como son:

-Ruptura de la unidad de la clase, debido a las diferencias de ritmo en el trabajo de los grupos, lo que se traduce -si las tareas son extensas- en desfases considerables, difíciles de recuperar.

-Peligro de desorientación de los alumnos, dado que algunas actividades suponen la correcta realización de las anteriores. Ello dificulta muy seriamente el desarrollo de programas definidos.

-Imposibilidad de que el profesor satisfaga las peticiones de ayuda de los pequeños grupos, que suelen solicitarse simultáneamente sobre aspectos diferentes.

Todo lo anterior nos ha conducido a pensar en la conveniencia de una forma de trabajo más estructurada, consistente en que, tras la realización de una actividad se produzca una puesta en común antes de pasar a la siguiente. Ello permite al profesor reformular, si fuera necesario, las aportaciones de los grupos, orientando al propio tiempo la siguiente actividad. Por supuesto dicha puesta en común no debe emplear excesivo tiempo. Pueden utilizarse para ello diversas técnicas: bien una transcripción simultánea de las respuestas de los grupos en la pizarra, bien solicitar la respuesta de un solo grupo, respuesta que los demás grupos, en caso necesario, critican, completan o matizan. En cualquier caso es preciso que el profesor juegue un papel activo, centrando las intervenciones o interrumpiéndolas en un momento dado con una formulación globalizadora. Tampoco es conveniente dejar que todos los grupos hayan terminado, antes de pasar a la puesta en común. Ello podría entorpecer el ritmo normal de la clase. En realidad la puesta en común ofrece ya la posibilidad de completar la discusión pendiente de algún grupo. Dentro de ciertos límites, por otra parte, una cierta presión positiva para que el trabajo se haga rápidamente, resulta beneficiosa, evitando dispersión y aburrimiento. Ello quiere decir, que el profesor debe estar atento al trabajo de los distintos grupos y saber pasar a la discusión general en

el momento oportuno. Evidentemente, puede ocurrir que en ciertas ocasiones el trabajo de los grupos haya sido ineficaz -quizá porque la actividad planteada era inadecuada, lo que obligará a su modificación- o bien porque el trabajo sea incompleto y el profesor se vea entonces obligado a añadir información, lo cual ocurre más frecuentemente. No obstante, el simple hecho de que los grupos hayan abordado previamente las cuestiones a que se refiere la información del profesor, hace que su receptividad ante esta sea mucho mayor, por responder a cuestiones que ellos se han planteado. Es conveniente indicar de paso, que este hecho también se da en la investigación científica donde a veces se tropieza, se producen fallos, equivocaciones, etc.

Por otra parte, es importante no dar a los alumnos la sensación de que ellos solos están descubriendo lo que en muchas ocasiones se ha tardado bastantes años en lograr. (Leboutet, 1973). El papel del profesor es fundamental y es preciso un cierto directivismo por parte de este. En este sentido se pronuncia Ausubel (1978) cuando señala que el descubrimiento guiado semiautónomo es más eficaz para el aprendizaje, la retención y la transferencia, que el descubrimiento completamente autónomo o el suministro de la guía completa.

Evidentemente, en los programas guías no se trata de que el alumno rehaga completamente todas las investigaciones que se han hecho a lo largo de la historia de la Ciencia, ni tampoco que emprenda experiencias difíciles de realizar. Por el contrario, las actividades experimentales han de integrarse perfectamente dentro del hilo conductor del tema, procurando que respondan a un problema previamente planteado, para cuya resolución se han emitido ciertas hipótesis, etc. Conviene notar que incluso en casos de experiencias no realizables en el laboratorio, se puede recurrir a presentar a los alumnos los resultados en forma de tablas, que han de interpretar, hacerles emitir hipótesis, etc, como puede verse por ejemplo con la experiencia de Rutherford sobre la estructura del átomo (Beltran et al, 1980 a) o con el efecto fotoeléctrico (Beltran et al, 1980 b).

Hemos de señalar también que ningún programa guía es algo definitivo. Cada profesor elabora su propio programa y lo modifica de acuerdo con los resultados que vaya obteniendo. No existen normas fijas para el establecimiento de las actividades concretas a proponer ni para su secuencia. No obstante, sí pueden señalarse algunas características comunes. A este respecto podemos decir que las actividades de un programa guía pueden agruparse básicamente en tres tipos, que denominaremos de iniciación, de desarrollo y de acabado del tema (Furió y Gíl, 1978). A continuación comentaremos brevemente cada uno de ellos:

Como actividades de iniciación se incluyen las de sensibilización hacia el tema, tendentes a motivar al alumno sobre el estudio que va a realizar. También se ha de proporcionar aquí una concepción preliminar de la tarea, de modo que se facilite al alumno una visión global de lo que se va a tratar, sirviendo así como hilo conductor. Además es necesario el diseñar, en su caso, actividades concebidas específicamente para mostrar posibles preconceptos de los alumnos.

En las actividades de desarrollo, un punto importante es la introducción y manejo significativo de los conceptos. Es necesario que dicha introducción se realice inicialmente de forma simplificada antes de proceder a una profundización. Para ello se requiere primeramente un abordaje cualitativo de los conceptos físicos y químicos que se van a introducir, así como de las definiciones operativas que se basan en dichos conceptos. El proceder de esta forma, puede evitar graves problemas, ya que un material de entrada en exceso difícil o sin sentido, promueve errores iniciales y falsas concepciones indeseablemente numerosas, que luego tienen que ser desaprendidas; interfiere en el dominio y consolidación de los conceptos y menoscaba la confianza del alumno en sí mismo, aumentando la ansiedad y provocando la evitación de la tarea (Ausubel, 1978). En cuanto al manejo de los conceptos, podemos destacar las actividades destinadas a la construcción de gráficas como forma de visualizar y comprender mejor aspectos complejos, la interpretación física de datos numéricos, el establecimiento del dominio de aplicabilidad (o campo de validez de la expresión), el análisis crítico

de proposiciones etc. Otro punto también de gran importancia, es la inclusión de actividades que permitan la familiarización con la metodología científica, tales como las de emisión de hipótesis, la realización de experimentos para contrastarlas, el análisis de resultados, la confección de memorias, etc. Finalmente tenemos que indicar también la conveniencia de plantear algunos aspectos sobre las relaciones entre ciencia y sociedad, tales como implicaciones tecnológicas, implicaciones sociales de concimientos científicos, etc.

Entre las actividades de acabado, podemos citar entre otros los siguientes puntos: elaboración de síntesis y esquemas, evaluación del aprendizaje realizado (incluyendo actividades destinadas a comprobar la superación efectiva de posibles preconceptos que hubiesen sido detectados al comienzo), etc.

La confección de los programas guías, tiene para nosotros las características de una investigación/acción, es decir, se trata de superar la investigación didáctica "de laboratorio" realizada en muchos casos por investigadores ajenos a la disciplina concreta, y pasar a una investigación "de campo", realizada en la misma aula. Es en esta tarea en donde el papel del profesor cobra una nueva dimensión investigadora, contribuyendo a dar un mayor interés y efectividad de la tarea docente (Piaget, 1969).

Los programas guías se suministran a los alumnos en forma de libro o folletos policopiados de manera que se facilite su lectura y el almacenamiento de todo el trabajo realizado. En Calatayud et al (1986), se proponen un conjunto de programas guías de Física y Química comentados, para utilizar con alumnos de enseñanza media. Llegados a este punto, es necesario insistir, en que la simple distribución de los alumnos en grupos y el seguir los programas guías a modo de receta, no garantiza el que la clase funcione correctamente, existiendo entonces el peligro de que se produzcan frustraciones que lleven al profesor y a los mismos alumnos a preferir el retorno a métodos más tradicionales. Para evitar esto, es preciso que el profesor sepa en todo momento dirigir adecuadamente la

dinámica de la clase, teniendo en cuenta todas las indicaciones que hemos venido exponiendo.

Hemos comenzado este capítulo con una breve revisión de las razones que nos han llevado a proponer un modelo de enseñanza de las ciencias realmente coherente con la metodología científica, como la forma más adecuada de conseguir un cambio conceptual y metodológico verdaderamente significativo. Las imprecisiones y concepciones erróneas que acompañan al concepto de metodología científica, nos llevaron también a la búsqueda de cuáles son las características esenciales de la metodología científica (en las que existe un acuerdo general entre los distintos epistemólogos) y de sus implicaciones en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Finalmente hemos intentado mostrar que el aprendizaje como cambio conceptual y metodológico, puede ser llevado a la práctica mediante la organización del currículum en programas guías de actividades, señalando las características que deberían de contemplarse en los mismos. La importancia de este último punto es clave, y tanto más a destacar cuanto su necesidad ha sido apuntada de forma independiente, por otros autores (Driver y Oldham, 1986).

6. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA CONTRASTACION DE LA SEGUNDA HIPOTESIS.

Seguidamente, vamos a presentar una visión global del diseño elaborado para contrastar la segunda hipótesis continuando después con la exposición detallada de cada uno de los diseños particulares.

6-1 Operativización de la segunda hipótesis y visión general del diseño.

La segunda hipótesis, enunciada en el capítulo 2 (pág 26), puede expresarse más operativamente del siguiente modo:

Mediante la aplicación de un modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, es posible lograr la superación de la metodología de la superficialidad y consecuentemente, la adquisición significativa de conocimientos, lo que se traducirá particularmente, en una importante reducción de errores conceptuales.

La contrastación experimental de este punto, se basa lógicamente en la aplicación de las orientaciones didácticas propuestas en el capítulo cinco, desarrollando los temas del curriculum mediante programas guías como los que se exponen en Calatayud et al (1986). Esto es precisamente lo que ha sido llevado a cabo durante varios años, por distintos profesores y en distintas situaciones (alumnos de diferentes niveles de enseñanza, cursos de perfeccionamiento de profesores en activo, Cursos de Aptitud Pedagógica, etc). Se trata pues de comparar los resultados obtenidos con dichos grupos experimentales, con los ya existentes referidos a los demás alumnos no tratados mediante la metodología propuesta (grupos de control) y que han sido expuestos a lo largo de la primera parte de este trabajo. Para ello hemos procedido primeramente a derivar del punto anterior, toda una serie de consecuencias susceptibles de ser contrastadas empíricamente:

1ª El trabajo de los grupos de alumnos a través de las actividades propuestas en los programas guías, puede efectivamente, conducir a la construcción de aquellos conocimientos que la enseñanza tradicional transmite ya elaborados.

Para contrastar este aspecto, hemos recurrido a analizar los resultados cualitativos que constituyen las respuestas elaboradas por los grupos de alumnos al abordar las distintas actividades de los programas- guía. Como ejemplo concreto hemos escogido el tema de Química: "Introducción a la estructura atómico-molecular de la materia", a nivel de segundo de BUP.

2ª Entre los alumnos de los grupos experimentales ha de producirse una disminución significativa en el porcentaje de errores conceptuales cometidos en cada una de las cuestiones respecto a los grupos de control.

Pensamos para ello, pasar las mismas cuestiones utilizadas en la primera parte de este trabajo, entre los grupos de alumnos tratados por medio de programas guía. Es necesario indicar que cuando se procedió a pasar los cuestionarios sobre errores conceptuales entre los alumnos no tratados, no se tuvo en cuenta la posibilidad de que el profesor hubiese hecho uso en sus clases de cuestiones iguales a las que nosotros íbamos a proponer. Sin embargo, aquí sí que hemos tenido muy en cuenta el no utilizar dichas cuestiones de manera específica con los alumnos de los grupos experimentales, en ninguno de los casos.

Por otra parte, ya hemos intentado justificar teóricamente, la posibilidad de lograr verdaderos cambios conceptuales mediante la aplicación de la metodología propuesta. Ello ha de traducirse no solo en la obtención de porcentajes de errores conceptuales menores, sino también en que la asimilación de los nuevos conceptos ha de ser más sólida y duradera, de forma que cuando se pasen cuestiones para la detección de errores conceptuales muchos meses después de que los conceptos implicados hayan

sido impartidos, los porcentajes de error deben de seguir siendo muy bajos

3ª El cambio metodológico conseguido entre los alumnos de los grupos experimentales, se manifestará en una mayor reflexión y análisis de los problemas planteados y, por otra parte, en que dichos alumnos serán más capaces de realizar actividades características del trabajo científico, como emitir hipótesis, análisis de resultados, etc

La contrastación de la consecuencia anterior puede hacerse midiendo los tiempos medios de respuesta así como el porcentaje de alumnos que realizan algún tipo de comentarios a las mismas, cuando a dichos alumnos se les pasen los cuestionarios utilizados con los alumnos no tratados, con quienes, recordemos, se obtenían unos tiempos de respuesta muy bajos, y una ausencia casi total de comentarios, aclaraciones, etc.

En cuanto a la segunda parte, se trata de diseñar actividades que impliquen la emisión de hipótesis, la realización de diseños experimentales y el análisis de resultados. Aspectos todos ellos esenciales en una enseñanza que pretenda ser coherente con la metodología científica. Dichas actividades se propondrán a los alumnos de profesores que trabajen en sus clases según el modelo didáctico propuesto y también a los alumnos de profesores que no lo siguen, con objeto de constatar las diferencias.

4ª El propio comportamiento metodológico de los profesores implicados en la enseñanza de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, ha de ser percibido por los alumnos como sensiblemente diferente del resto del profesorado en general, alejándose significativamente de actitudes y características relacionadas con la metodología de la superficialidad.

En efecto, ya se vió anteriormente (pág 148), cómo el comportamiento habitualmente seguido por el profesorado, puede favorecer la práctica y consolidación entre los alumnos de ciertos aspectos característicos de

la metodología de la superficialidad o directamente relacionados con ella. Si el profesor desarrolla sus clases según el modelo que proponemos, cabe esperar que los alumnos perciban las diferencias existentes con el resto del profesorado. Para comprobar esto, hemos recurrido a pasar el CUESTIONARIO VII (pág 84) entre alumnos de los grupos experimentales y comparar los resultados con los que se obtuvieron en los grupos de control.

5ª La valoración que del modelo didáctico propuesto, haga el profesorado tanto en formación como en activo, será notablemente positiva.

Para que un modelo de enseñanza sea aceptado y desarrollado con éxito, no cabe duda de que es necesaria su aceptación mayoritaria entre el profesorado que ha de ponerlo en práctica. Para contrastar hasta qué punto se produce dicha aceptación se ha pasado un cuestionario de valoración del modelo a profesores de Física y Química en formación y en activo a los que se les impartieron distintos cursos de perfeccionamiento (todos ellos estructurados e impartidos mediante programas guías)

A continuación presentamos más detalladamente los diseños particulares para contrastar cada una de las cinco consecuencias que acabamos de enunciar.

6-2 Diseño para contrastar cómo el trabajo de los grupos de alumnos a través de las actividades propuestas en los programas guía conduce efectivamente a la reconstrucción de los conocimientos que la enseñanza tradicional transmite ya elaborados.

Para comprobar este punto, hemos procedido a realizar un análisis cualitativo de las respuestas y comentarios que suelen hacer los alumnos a las actividades de que constan los diversos programas-guía en que se estructura un curriculum. Hemos utilizado para ello los resultados obtenidos con los programas-guía elaborados últimamente por el seminario de Física y Química del ICE de la Universidad de Valencia (del cual formamos parte). Estos corresponden al temario de Física y Química de 2º de BUP y han sido ensayados durante los dos últimos años (Calatayud et al, 1986). Por nuestra parte, hemos recogido las observaciones, comentarios, etc de los alumnos, a partir no sólo de nuestra propia experiencia en la clase, sino también de la del resto de profesores implicados. Aquí, a modo de ejemplo extenso, presentaremos el programa-guía correspondiente al tema de Química: Introducción a la estructura atómico-molecular de la materia. En el capítulo de resultados (apartado 7-1, pág 203), reproducimos dicho programa-guía acompañando cada una de sus actividades de las respuestas que suelen dar los alumnos, los objetivos que se persiguen, su dificultad, etc.

6-3 Diseño para contrastar cómo entre los alumnos de los grupos experimentales se produce una disminución significativa en el porcentaje de errores conceptuales, respecto a los alumnos de los grupos de control.

Como ya hemos indicado anteriormente en la visión general del diseño, una de las consecuencias más importantes del desarrollo del modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, debe ser la disminución en el porcentaje de errores conceptuales cometidos por los alumnos entre los que se experimente. Para contrastar este punto hemos procedido a pasar entre dichos alumnos, las mismas cuestiones para la detección de errores conceptuales que se pasaron a los de los grupos de control y a comparar los resultados. Obviamente dichas cuestiones fueron explícitamente eliminadas de los programas guías utilizados. De esta forma hemos obtenido resultados de un total de 798 alumnos de Enseñanza Media , 44 de Magisterio y 48 del Curso de Aptitud Pedagógica procedentes fundamentalmente de Facultades de Física y de Química. La recogida de datos se realizó durante un periodo de más de cuatro años involucrando a más de diez profesores de Física y Química en activo, que vienen impartiendo sus clases mediante la utilización de programas guía, siguiendo en gran parte las directrices de la metodología propuesta. Lógicamente los grupos experimentales fueron los que los centros de enseñanza correspondientes asignaban a cada profesor (mediante criterios puramente administrativos, sin ninguna relación con el mayor o menor rendimiento académico). En nuestra opinión, tanto el elevado número de alumnos implicados, como la aleatoriedad de los grupos, son factores que contribuyen de forma importante a garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos, sin que se precise un tratamiento estadístico excesivamente complejo.

A continuación expondremos detalladamente cada una de las partes de este diseño:

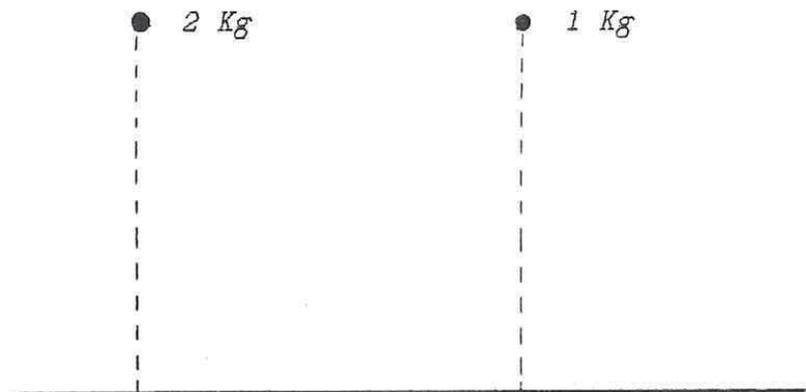
Primero se pensó realizar un ensayo piloto que nos proporcionara alguna evidencia experimental inicial sobre la validez de nuestra hipótesis antes de seguir profundizando y ampliando nuestro estudio. Para ello se recurrió a utilizar el Cuestionario I (pág 52). Este fue pasado a un grupo experimental de 39 alumnos de 2º de BUP al terminar la parte de mecánica. Por otro lado, a un grupo experimental de 44 alumnos de 1º de Magisterio, se les pasó únicamente la parte de caída de graves (también al terminar de ver la mecánica), y el cuestionario completo al terminar el curso (es decir caída de graves y concepto de fuerza). Al proceder de esta manera, pensábamos no sólo en comparar los resultados obtenidos con los ya disponibles de los grupos de control, sino también en analizar el grado de persistencia de los cambios conceptuales logrados en el grupo de Magisterio, que según nuestra hipótesis debía de ser elevado.

Posteriormente, se utilizaron también con grupos experimentales los Cuestionarios V, VI y VIII (que se encuentran detallados en las págs 77 79 y 84 respectivamente). Todos ellos se pasaron a final del curso académico, es decir, meses después de que se hubiesen visto los conocimientos relacionados con la mayoría de las cuestiones utilizadas. El cuestionario V fue pasado a un total de 176 alumnos distribuidos en dos grupos de 2º de BUP, uno de 3º, un grupo de COU y dos grupos del CAP. El cuestionario VI se pasó a un total de 91 alumnos, distribuidos en un grupo de 2º de BUP, uno de 3º y uno de COU. Finalmente, el cuestionario VIII, se pasó entre 64 alumnos, correspondientes a dos grupos de 2º de BUP. El número de profesores implicados fue de cinco; cada uno de un centro de Enseñanza Media estatal diferente. Estos mismos cuestionarios se habían utilizado también con alumnos no tratados, como se ha visto en la primera parte de esta tesis (capítulo cuatro), de modo que ahora podemos comparar los resultados obtenidos por ambos grupos. Según nuestra hipótesis, el porcentaje de errores conceptuales cometidos por los alumnos experimentales en cada una de las cuestiones, ha de ser notable y significativamente menor que el cometido por los alumnos de los grupos de control, a pesar de que en los grupos experimentales, a diferencia de los de control, los cuestionarios se pasaron siempre al final de curso.

Finalmente, expondremos un último cuestionario (CUESTIONARIO IX), para la detección de errores conceptuales, que ha sido elaborado y manejado por el grupo de profesores del seminario permanente de Física y Química del ICE de la Universidad de Valencia, con nuestra participación. A continuación comentaremos brevemente las cuestiones de que consta:

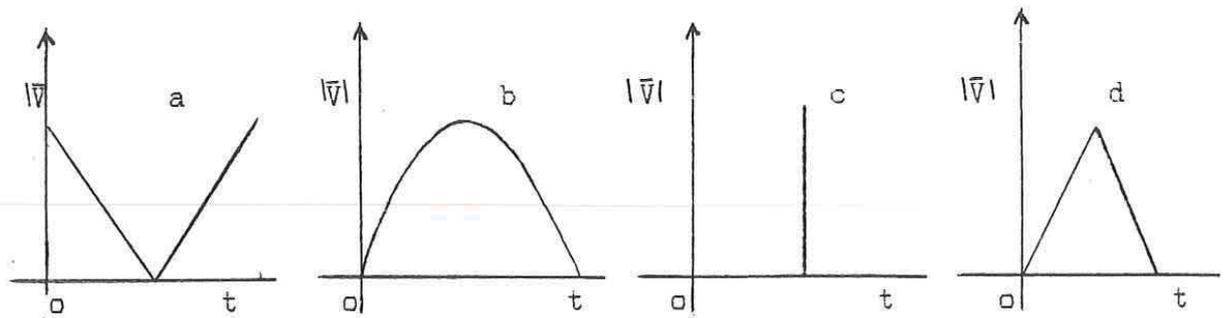
CUESTIONARIO IX Detección de Errores Conceptuales

1ª Dos bolas de 2 Kg y de 1 Kg, respectivamente, se dejan caer simultáneamente desde la misma altura (se considera despreciable el rozamiento). Señalar mediante cruces la posición de cada objeto, a intervalos iguales de tiempo:



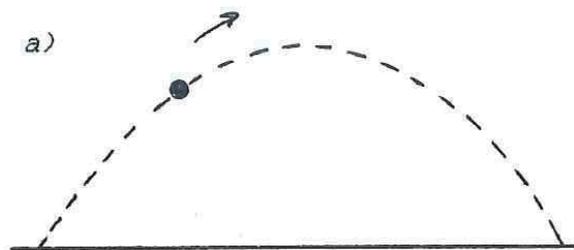
En esta primera cuestión intervienen dos ideas: por una parte la influencia de la masa en la duración de la caída y por otra, el concepto de movimiento uniformemente acelerado. Si ambas cosas han sido correctamente asimiladas se debería de observar en el dibujo una serie de cruces por parejas a la misma altura sobre el suelo y cada vez más distanciadas entre si.

2ª ¿Cuál de las siguientes gráficas refleja correctamente la relación entre el módulo de la velocidad $|\vec{v}|$ de una pelota que ha sido lanzada verticalmente hacia arriba y el tiempo t que ha estado moviéndose?

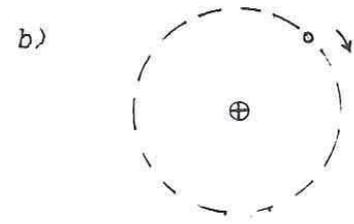


Aquí se trata simplemente de analizar si los alumnos interpretan correctamente las gráficas expuestas o por el contrario presentan confusiones como por ejemplo asimilar alguna de las gráficas a la trayectoria seguida por el móvil.

3ª Dibujar las fuerzas que actúan sobre los móviles siguientes en la posición representada: (La flecha indica el sentido en que se mueve en el instante representado)

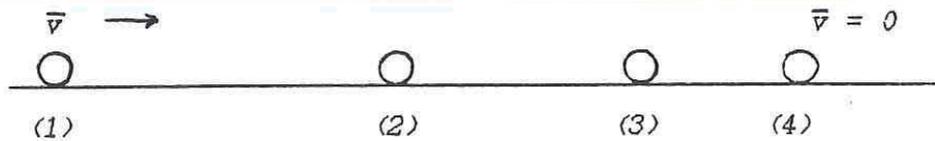


pelota lanzada hacia la derecha



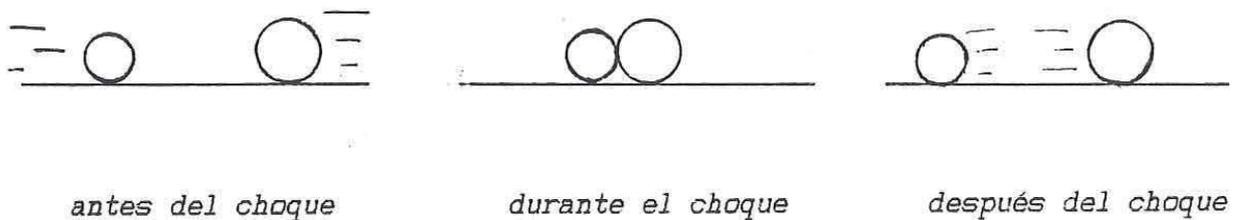
electrón moviéndose
alrededor del núcleo

4ª El esquema indica la posición en diferentes instantes de un objeto lanzado con cierta velocidad (posición 1) hasta que se para (posición 4). Dibujad todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en cada una de las posiciones. (La flecha indica el sentido en que se mueve).



Las dos cuestiones anteriores se refieren al concepto de fuerza. La asociación fuerza-velocidad, lleva a dibujar fuerzas en el mismo sentido del movimiento, a dibujar una "fuerza centrífuga" para justificar el movimiento del electrón y también a no dibujar, en la cuestión 4ª, la fuerza normal que hace la superficie sobre el objeto.

5ª Dibujar las fuerzas a que están sometidas dos bolas de acero -lanzadas la una contra la otra- antes, durante y después del choque:



En esta cuestión, los preconceptos sobre las fuerzas, pueden llevar a que los vectores representativos de las fuerzas en el instante del choque, se dibujen de distinto tamaño, pensando que el objeto más másico debe hacer más fuerza que el otro. También es frecuente que se dibujen vectores fuerza después del choque, en la misma dirección y sentido en que se mueve cada bola.

6ª Un albañil eleva un saco de cemento a un mismo piso por dos procedimientos distintos. Uno de ellos (A), consiste en subirlo por la escalera. El otro (B), en subirlo verticalmente con la ayuda de una polea. De entre las afirmaciones siguientes, señala la que te parezca que es la correcta: (El rozamiento se considera despreciable)

- 1) Se hace menos trabajo por el procedimiento A.
- 2) Se hace menos trabajo por el procedimiento B
- 3) Se hace el mismo trabajo por los dos procedimientos.
- 4) No se puede afirmar nada con los datos que se disponen.

7ª Señalar verdadero o falso en cada una de las siguientes opciones:

- a) El calor es una forma de pasar energía de un cuerpo a otro, cuando se encuentran a diferente temperatura.
- b) El calor es una forma de energía que tienen los cuerpos según su temperatura.
- c) El calor es lo que marca el termómetro puesto en contacto con el cuerpo que está caliente.

Mediante las dos últimas cuestiones se pretende poner de manifiesto respectivamente, la posible identificación del trabajo con el esfuerzo y la de calor con energía o incluso con temperatura.

Las cuestiones anteriores se elaboraron sin conocimiento previo de los profesores que impartían sus clases a los grupos experimentales y fueron pasadas de esta forma a final del curso 85-86 a un total de 392 alumnos de segundo de BUP de siete centros distintos. A su vez el mismo cuestionario fue pasado a un total de 234 alumnos del mismo nivel "no tratados" de otros profesores. El tiempo concedido para la cumplimentación fue en ambos casos ilimitado, indicándose como siempre a los alumnos que podían hacer las aclaraciones que estimasen oportunas, poner "no lo sé" en caso de desconocer alguna cuestión, etc. También hemos de indicar que en esta ocasión se les dijo a los alumnos que se trataba

de un exámen; pretendiamos así que los alumnos tuvieran un mayor cuidado a la hora de contestar las cuestiones, evitando actitudes de desinterés que pudieran afectar, particularmente, a los alumnos de los grupos de control.

6-4 Diseño para contrastar el cambio metodológico conseguido en los grupos experimentales.

El cambio metodológico, supone tal y como hemos intentado fundamentar en la primera parte de este trabajo, un requisito necesario para lograr cambios conceptuales verdaderamente sólidos y duraderos. En este sentido, no cabe duda de que la misma disminución en el porcentaje de errores conceptuales cometidos por los alumnos -mantenida incluso muchos meses después de haberseles impartido los conocimientos correspondientes- constituiría un buen índice de que dicho cambio metodológico se ha conseguido. Sin embargo existen también otros índices característicos de la nueva metodología. Nos referimos concretamente a la detección de ciertas actitudes como por ejemplo, una mayor reflexión previa antes de contestar los problemas planteados y un mayor hábito de verbalizar razonamientos, analizar los resultados, etc, que se traducirían respectivamente en un aumento de los tiempos medios de respuesta a cuestionarios sobre errores conceptuales y también del número de comentarios, explicaciones, etc, en los mismos. Para comprobar esto, hemos procedido a medir estos índices en algunos de los grupos experimentales (tres grupos de 2º de BUP, dos de COU y un grupo del CAP) y comparar después los resultados obtenidos, con los que disponemos de otros grupos de control del mismo nivel.

Otro índice de gran importancia viene dado por la mayor habilidad en la realización de actividades tales como emisión fundamentada de hipótesis, realización de diseños experimentales, capacidad de análisis de los resultados, etc. Lógicamente, estas medidas revisten un mayor grado de complejidad, que las que por ejemplo, se reducen simplemente a ver qué respuesta es señalada como correcta. No obstante se ha realizado un diseño por parte del seminario de Física y Química del ICE con nuestra cooperación, con objeto de obtener unos primeros resultados con alumnos de segundo de BUP, a los que algunos de los profesores miembros del seminario impartían sus clases mediante programas-guía. El número total de alumnos fue de 394. Para estos alumnos se diseñó el CUESTIONARIO X, cuyas cuestiones comentaremos a continuación:

CUESTIONARIO X. (Cambio Metodológico)

1ª Al tratar de resolver el problema del tiempo que tardará una barca B, en alcanzar a otra A, a la que persigue en un río, paralelamente a la orilla, un grupo de alumnos ha supuesto que dicho tiempo t , dependerá de las velocidades de ambas barcas V_A y V_B , de la velocidad de la corriente V_C y de la distancia que les separaba inicialmente D . Analizar dichas hipótesis y precisarlas al máximo señalando cómo influirán estas variables en el valor del tiempo.

Con esta primera cuestión, se trata de averiguar si los alumnos son capaces de realizar un planteamiento cualitativo que suponga, una profundización en las hipótesis emitidas, indicando cómo cabe esperar que influyan (o no) las variables, señalando algún caso límite obvio etc. Más concretamente, se trata de constatar si los alumnos hacen entre otras cosas, las siguientes consideraciones justificandolas:

- Cuanto mayor sea V_B y menor sea V_A , menos tiempo tardará la barca B en alcanzar a la A, y si ambas velocidades son iguales o bien $V_A > V_B$, nunca la alcanzará.
- Es la diferencia $V_B - V_A$, lo que hay que considerar. La velocidad de la corriente se considera la misma para las dos barcas y no influye.
- Además de la diferencia $V_B - V_A$, también influirá la distancia inicial D que las separa, de manera que cuanto mayor sea D , mayor será el tiempo que tardará B, en alcanzar a A. Si $D = 0$, el tiempo t , será también 0.

2ª Con objeto de determinar la naturaleza del movimiento de una motocicleta, se ha medido la posición del móvil a lo largo de la trayectoria en distintos instantes, a partir de un instante y posición iniciales. Los datos obtenidos han sido:

t/s	0	2	4	6	8	10	12	14
e/m	0	72	128	168	192	200	200	200

Analizar dichos resultados.

Con la cuestión anterior se pretende ver la capacidad de los alumnos para interpretar los resultados obtenidos en un experimento, los cuales se proporcionan en la tabla. Estos han de ser representados gráficamente y a continuación el alumno debe ser capaz de explicar la gráfica obtenida, indicando que podría tratarse de un movimiento uniformemente retardado, en donde la rapidez de la moto va disminuyendo, hasta que finalmente se para.

Las dos cuestiones anteriores fueron pasadas a la vez que las del cuestionario IX (ver pág 191), a alumnos experimentales y de control. Según nuestra hipótesis, esperábamos encontrar que entre los alumnos experimentales se diese un número significativamente mayor de respuestas correctas, que entre los grupos de control.

6-5 Diseño para contrastar cómo el propio comportamiento metodológico de los profesores implicados en el desarrollo del modelo de aprendizaje propuesto, se aleja significativamente de actitudes relacionadas con la metodología de la superficialidad.

Para comprobar el punto anterior hemos procedido a pasar el Cuestionario VII (pág 84) entre alumnos experimentales. Recordemos que en dicho cuestionario se incluían una serie de aspectos relacionados con la metodología de la superficialidad y se les pedía a los alumnos que diesen su opinión sobre lo extendidos que consideraban dichos aspectos entre sus profesores. Lógicamente, de lo que se trata ahora es de pasar el mismo cuestionario entre los alumnos de aquellos profesores que imparten sus clases siguiendo programas-guía, cuyo comportamiento metodológico debe ser coherente con la propia metodología que trata de enseñar.

Para proceder a la contrastación, se pasó el cuestionario VII al final del curso 85-86, a 111 alumnos de 2º de BUP experimentales, correspondientes a tres profesores de otros tantos grupos. En el cuestionario se les pedía que contestaran refiriéndose exclusivamente a su profesor actual de Física y Química. Los profesores, por supuesto, no tuvieron ningún conocimiento de que se iba a pasar el cuestionario citado. Los profesores de los grupos experimentales entre los que se pasó la encuesta habían impartido sus clases mediante los programas-guías que hemos citado anteriormente (Calatayud et al, 1986), durante todo el curso. Los resultados obtenidos con los grupos experimentales se compararon con los que ya disponemos (grupos de control), con los que según nuestra hipótesis debían existir diferencias significativas.

6-6 Diseño para contrastar la valoración positiva que el profesorado hace sobre el modelo didáctico propuesto.

Resulta evidente que para que el modelo didáctico propuesto sea desarrollado satisfactoriamente, es necesario que este sea valorado positivamente por el profesorado que ha de hacerlo. Se trata pues, de obtener una valoración sobre el modelo de aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, por parte de los profesores que tendrían que desarrollarlo en sus clases, es decir: profesores de Física y Química de enseñanza media en activo y en formación. Se ha aprovechado para ello los distintos cursos de perfeccionamiento para el profesorado en activo y los mismos cursos del CAP (de formación inicial del profesorado de Física y Química de Enseñanza media), para recoger los datos. Estos cursos están diseñados, no como conferencias ante receptores pasivos, sino utilizando verdaderos programas-guía, es decir haciendo vivir a los asistentes el modelo didáctico propuesto. Las ventajas que esta forma de proceder tienen para nuestro objetivo son obvias, ya que la mejor forma de obtener unos datos verdaderamente fiables, es conseguir que los profesores, experimenten en sí mismos, el modelo didáctico que proponemos. La duración media de los cursos para los profesores en activo ha venido siendo de unas 20 horas, y en la mayoría de ellos se trató más o menos directamente, el tema de los errores conceptuales. En general se comenzaba pasando entre los asistentes un cuestionario sobre errores conceptuales (los resultados los hemos detallado en las Tablas 9 y 10 de la pág 136), que debían de cumplimentar individualmente. Con ello pretendíamos simplemente sensibilizarlos hacia el problema. A continuación se distribuían en pequeños grupos y se proseguía con el desarrollo del programa siguiendo las directrices metodológicas propuestas, que de esta forma podían vivenciar personalmente. Al final del curso se les pasaba el CUESTIONARIO XI que reproducimos a continuación. Como puede verse las cuestiones son lo suficientemente explícitas en sí mismas. Cada asistente debía de valorar por medio de una nota entre cero y diez la eficacia del modelo propuesto para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, frente al modelo tradicional, en una serie de aspectos

claves, que se detallan en cada una de las cuestiones. El cuestionario XI fue ensayado entre dos grupos de profesores de enseñanza media en activo y otros dos grupos de alumnos del CAP.

CUESTIONARIO XI. Valoración del modelo didáctico propuesto.

	Enseñanza habitual	Modelo Propuesto
1 Atención prestada a las ideas previas de los alumnos,.....		
2 Favorecer los planteamientos cualitativos,.....		
3 Favorecer la invención de hipótesis,.		
4 Diseñar montajes experimentales,.....		
5 Facilitar la detección y corrección de errores conceptuales,.....		
6 Impulsar a los alumnos a persistir ante problemas desconocidos,.....		
7 Introducción no dogmática de los conceptos,		
8 Realización de experimentos por los alumnos, sabiendo lo que persiguen,.		

sigue

Cuestionario XI, Continuación

	Enseñanza habitual	Modelo propuesto
9	Familiarizar a los alumnos con la metodología científica, y provocar un auténtico cambio metodológico,	
10	Favorecer la participación de los alumnos	
11	Interesar a los alumnos por la Ciencia,	
12	Impulsar a la verbalización,	
13	Favorecer la interpretación de los resultados,	
14	Provocar cambios conceptuales favoreciendo la adquisición significativa de conocimientos científicos,	
15	Contribuir a interesar a los profesores, implicándoles en tareas de investigación/acción,	

7. PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACION DE LA SEGUNDA HIPOTESIS.

Seguidamente expondremos los resultados concernientes a la contrastación de la segunda de nuestras hipótesis, la cual consiste, recordemos, en afirmar que mediante la aplicación de un modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, es posible lograr la superación de la metodología de la superficialidad y consecuentemente la adquisición significativa de conocimientos, lo que se traducirá particularmente, en una reducción importante de los errores conceptuales. A partir de esta hipótesis, se derivaron en el capítulo 6, un total de cinco consecuencias. El diseño particular para contrastar cada una de ellas, fue detallado en el mismo capítulo. En este, se exponen los resultados obtenidos en cada caso:

7-1 Resultados obtenidos en la contrastación de que efectivamente es posible que mediante las actividades propuestas en forma de programas-guía, los alumnos construyan conocimientos.

A continuación reproducimos el programa-guía correspondiente al tema de Química de 2º de BUP: Introducción a la estructura atómico-molecular de la materia, acompañando cada una de las actividades de los comentarios correspondientes: objetivos de la misma, posibles dificultades y sobre todo las respuestas que dan los alumnos. Los datos han sido recogidos por un grupo de cinco profesores de Física y Química de enseñanza media, que han impartido dicho programa-guía. Se trata simplemente, de mostrar, de forma cualitativa, que ciertamente, los alumnos pueden ir resolviendo (utilizando una metodología coherente con la científica), cada una de las sucesivas actividades propuestas, construyendo así toda una serie de conocimientos, que de otra forma le serían suministrados ya elaborados, con todas los inconvenientes que ello comporta, y que ya hemos analizado a lo largo de este trabajo.

Las actividades señaladas como *opcionales*, no forman parte del núcleo del tema, dejando su propuesta a criterio del profesor.

ESTRUCTURA ATOMICO MOLECULAR DE LA MATERIA

Introducción:

Uno de los problemas fundamentales en el desarrollo de la Química como Ciencia, ha sido el llegar a un conocimiento de la estructura de la materia que permitiera explicar muchas de las transformaciones que en ella se pueden producir y lo que es más importante: predecir y dirigir dichas transformaciones. En el establecimiento de dicha estructura han confluído históricamente dos líneas de trabajo: el estudio del comportamiento de los gases (estado en el que las sustancias presentan un comportamiento más simple), y toda la información acumulada durante siglos sobre los procesos de separación de sustancias, transformaciones de las mismas, etc. De acuerdo con ello, el desarrollo del tema se ajustará al siguiente índice:

Índice:

1. Establecimiento de la estructura atómica de la materia.

- 1.1 Contribución del estudio de los gases al establecimiento de la estructura de la materia.
- 1.2 Contribución de la información química acumulada en la época de Dalton, al establecimiento de la estructura atómica de la materia.
- 1.3 Hipótesis atómica de Dalton.

2. Desarrollo de la hipótesis atómica de Dalton.

- 2.1 Trabajos de Gay-Lussac sobre reacciones entre gases.
- 2.2 Determinación de masas atómicas relativas.
- 2.3 Ensayos de ordenación de elementos: El sistema periódico.

1. Establecimiento de la estructura atómica de la materia.

1.1 Contribución del estudio de los gases al establecimiento de la estructura de la materia.

El estado gaseoso de las sustancias es aquél en el que presentan un comportamiento más simple. No es de extrañar pues, que el estudio de las propiedades de los gases esté íntimamente ligado al desarrollo de las concepciones acerca de la estructura de la materia. Comenzaremos por una breve descripción de dicho comportamiento.

A-1 Describid de forma cualitativa las características del comportamiento físico de los gases.

Comentarios A-1.

Los alumnos disponen de la suficiente experiencia acumulada para referirse, como efectivamente hacen a : 1º) La facilidad con que los gases se mezclan entre sí. 2º) La facilidad con que se comprimen y se expanden, ocupando la totalidad del recipiente que los contiene. 3º) La influencia de la temperatura en el volumen ocupado y/o la presión ejercida. Naturalmente, la reformulación del profesor puede servir para precisar la terminología empleada (introduciendo conceptos como difusión, compresibilidad, etc) y ordenar las propiedades enumeradas por los grupos de alumnos. Puede ocurrir también que los alumnos indiquen otras "propiedades" de los gases, tales como que "no se ven", "no pesan", etc, que conectan con preconceptos bien estudiados en la literatura (Carrascosa, 1985), siendo necesario detenerse en aclarar estas cuestiones. En cualquier caso es conveniente que el profesor se asegure de que los preconceptos mencionados han sido efectivamente superados. Para ello se pueden proponer actividades que favorezcan su aparición (Furió y Hernandez, 1983). Las actividades complementarias que aparecen al final del tema (pág 226) pueden utilizarse en el momento que convenga, bien sea al comienzo, para diagnosticar

la existencia de preconcepciones, como al final del tema, para ver si han sido superados.

A-2 Diseñad sendas experiencias para mostrar cualitativamente las características del comportamiento de los gases, que se han señalado en la actividad anterior.

Comentarios A-2

Las respuestas de los alumnos suelen ser en general ingeniosas, aunque algunas de difícil realización. Conviene entonces, sin rechazar ninguna de ellas, pero favoreciendo la actividad crítica, se pueden retener las más sencillas. Así, la difusibilidad de los gases, puede ponerse en evidencia mediante la conexión de dos recipientes, uno de los cuales contenga un gas coloreado y el otro simplemente aire. El uso de bombines de bicicleta o de jeringuillas taponadas, puede servir para mostrar la compresibilidad de los gases, y finalmente, resulta cómodo y espectacular la utilización de globos colocados cerca de focos caloríficos, para constatar la influencia de la temperatura en el volumen. (Nuevo manual de la Unesco para la enseñanza de las ciencias, 1982)

A-3 Dad una explicación a modo de hipótesis cualitativa, del comportamiento de los gases. Es decir: Exponed cuál podría ser la estructura de la materia en estado gaseoso, de forma que se justifiquen todos los aspectos del comportamiento observados.

Comentarios A-3

La idea de una materia constituida por partículas, forma parte de los conocimientos de la mayoría de los alumnos, y aparece sin dificultad. No obstante se trata muy a menudo de una simple retención memorística; por ello es necesario que el profesor insista en el tema, pidiendo una mayor precisión, de forma que se expliquen los comportamientos más relevantes del comportamiento de los gases. Ello

conduce a los alumnos a una discusión realmente creativa, que enriquece y da sentido a la imagen atómica.

Así, la fácil difusibilidad de los gases, les lleva a suponer que las partículas se hallan en rápido movimiento; la fácil compresibilidad les hace suponer que las partículas ocupan solo una pequeña fracción del volumen, o, dicho de otro modo: que el tamaño de las partículas es despreciable frente al volumen total (simplificación esta, fundamental para la operativización del modelo y sobre la que el profesor, conviene que llame la atención); la influencia de la temperatura, la interpretan ahora fácilmente, y se afianza así la imagen de partículas muy pequeñas (tamaño despreciable) dotadas de grandes velocidades, chocando entre sí o con las paredes del recipiente, etc...

A-4 Partiendo del modelo propuesto para los gases, indicad, siempre a título de hipótesis, de qué factores dependerá la presión de un gas encerrado en un recipiente y la forma en que influye cada uno de ellos.

Comentarios A-4.

La discusión de los alumnos conduce a enunciar que la presión del gas debería ser función del volumen del recipiente, del número de partículas y de la temperatura.

Sin embargo, las respuestas aparecen, a veces, de forma algo confusa, pero que permite pasar fácilmente a los factores indicados. Se menciona así, en ocasiones el papel de la velocidad en el movimiento caótico de las partículas, que puede relacionarse con el de la temperatura. En otros casos, se hace referencia al tamaño de las partículas, pero también aquí se comprende fácilmente que este no es un factor significativo, si consideramos el tamaño de las partículas despreciable frente al volumen ocupado.

El establecimiento de las relaciones entre los factores mencionados exige que los alumnos hagan un análisis y consideren la posible influencia de cada uno de ellos en la presión, manteniendo el resto constante. Esto les lleva a plantear:

- Que la presión aumenta con la temperatura (si N y V permanecen constantes), es decir sugiere una relación del tipo: $P/T = \text{cte}$, (para N y V constantes). Si los alumnos desconocen la escala absoluta de temperaturas pueden escribir $P/t = \text{cte}$. El desarrollo de esta investigación permitirá en este caso, introducir dicha escala.

- Del mismo modo, los alumnos proponen razonadamente las relaciones $P.V = \text{cte}$ (para N y T constantes), $V/T = \text{cte}$ (para T y P constantes), y $P/N = \text{cte}$ (para V y T constantes).

En la puesta en común se puede llegar con facilidad a enunciar la expresión : $P.V = K.N.T$, que engloba a todas las anteriores.

A-5 Diseñad un montaje experimental que permita contrastar la relación entre la presión y el volumen de un gas.

Comentarios A-5.

Los alumnos sugieren la utilización de un cilindro transparente, provisto de un émbolo, que pueda subir y bajar fácilmente, y en donde se halla aprisionada una cierta cantidad de gas. Una simple jeringuilla, o bien una probeta graduada, como se describe en el Manual de la Unesco para la Enseñanza de la Ciencia (1982) (pág 2. 312), pueden servirnos perfectamente. Basta colocar pesas iguales sobre el émbolo dispuesto verticalmente, para obtener valores relativos de la presión, medir el volumen en cada caso y construir una tabla de valores P-V. Normalmente es necesario que el profesor haga algunas consideraciones sobre los valores de la presión tomados, puesto que los alumnos suelen tener dificultades en el manejo de valores relativos: si cada pesa supone un incremento de presión $\Delta P =$

1 (unidad arbitraria), y la presión atmosférica es P_0 , los valores sucesivos serán: $P_0 + 1$; $P_0 + 2$; $P_0 + 3$; etc. Ahora basta tomar P_0 como origen (es decir desplazar la escala) para poder considerar como valores de la presión 1, 2, 3 etc. El uso de jeringas desechables permite, tomando algunas precauciones, obtener resultados bastante correctos. Entre estas precauciones cabe notar las siguientes:

-El cierre de la jeringuilla (los alumnos proponen, entre otros procedimientos, soldar a la llama, poner una pieza de goma sobre la mesa y presionar en ella la jeringuilla, hundir la aguja de la jeringa en un corcho, etc; excepto este último, los demás funcionan bastante bien)

-Tener en cuenta la fricción (presionando ligera y repetidamente con la mano hasta constatar que la posición del émbolo no varía o utilizar algún lubricante).

-Las pesas han de ser lo más planas posible (va muy bien un cilindro de hierro cortado en discos).

A-6 Proceded a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.

Comentarios A-6.

Los alumnos, que ya han realizado numerosas representaciones gráficas, recurren a representar $P = f(V)$, que según la hipótesis manejada debe conducir a una hipérbola. Conviene llevarles a realizar una representación que proporciona -siempre según la hipótesis- una línea recta. Ello conduce a $P = f(1/V)$. Los resultados obtenidos -si se han adoptado las precauciones indicadas en la actividad anterior- son bastante aceptables. No obstante es preciso salir al paso de posibles distorsiones sobre el trabajo científico por parte de los alumnos, tales como imaginar que bastan unos pocos resultados como los obtenidos en un laboratorio escolar, para dar por

verificada o falsada una hipótesis (Hodson, 1985). Para ello el profesor puede recurrir (después de que los alumnos realicen los experimentos correspondientes) a comentar los trabajos realizados por Boyle y por Gay-Lussac. Con este mismo objetivo se puede hacer uso también, de tablas de resultados obtenidas en experimentos realizados por científicos, muchas veces en condiciones más rigurosas que las de un laboratorio escolar, lo cual tiene también un indudable poder motivador. En este sentido se proponen las dos actividades siguientes. Lógicamente no es necesario que los alumnos realicen las dos. El profesor propondrá la que mejor le parezca.

A-7 Se ha procedido a medir el volumen ocupado por una cierta cantidad de gas a temperatura constante, para distintas presiones, obteniendo la siguiente tabla de valores:

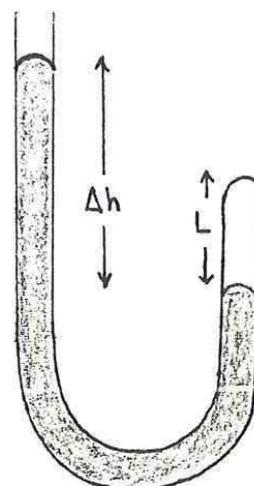
P (atm)	9	15	21	45	63
V (litros)	70	42	30	14	10

Proceded al análisis de dichos resultados.

A-7 bis. En su experimento original, Boyle midió la longitud L (directamente proporcional al volumen) de una columna de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio Δh (ver figura adjunta). Con este procedimiento obtuvo la siguiente tabla:

L (cm)	50.0	45.0	40.0	35.0	30.0
Δh (cm)	0.0	8.3	18.0	32.1	50.0

La presión atmosférica durante el experimento, fue de 75 cm de mercurio y la temperatura de 25 °C. Proceder al análisis de dichos resultados.



Comentarios A-7 y A-7 bis.

Las actividades anteriores, no solo contribuyen a motivar a los alumnos y proporcionarles una imagen del trabajo científico más próxima a la realidad, sino que también pueden utilizarse actividades del mismo tipo, cuando la realización material de un experimento, resulta difícil de llevar a cabo (complejidad del montaje, falta de medios técnicos, falta de tiempo, etc). Ello no disminuye el carácter de investigación del trabajo realizado (muchos investigadores recurren a otros equipos para la realización de experiencias complejas). En cualquier caso, no es preciso ni conveniente el contrastar todas y cada una de las relaciones que se derivan de las hipótesis emitidas. Bastaría la realización de uno o dos experimentos, elegidos de acuerdo con el tiempo y material disponible, y proporcionar tablas de datos de los otros aspectos para que los alumnos los analicen y extraigan las oportunas conclusiones. O si se prefiere, se puede simplemente señalar que de igual modo se puede constatar la validez de las restantes expresiones. De ahí que las tres actividades siguientes se propongan con carácter opcional.

A-8 (opcional). Diseñad un montaje que permita contrastar la relación $V/T = cte$ (para una masa dada de gas a presión constante)

A-9 (opcional). Proceded a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.

A-10 (opcional) Se ha procedido a medir el volumen ocupado por una masa dada de un gas a presión constante, para distintas temperaturas, obteniendo la siguiente tabla de valores:

t ($^{\circ}C$)	0	10	20	30	40	50	60
V (cc)	9100	9430	9770	10100	10400	10800	11100

Proceded al análisis de dichos resultados.

Mediante experimentos como los realizados y otros mucho más precisos, se ha verificado la validez aproximada de las hipótesis emitidas, apoyando así la idea de una estructura discontinua de la materia, que estaría así formada por partículas pequeñísimas.

Comentarios A-8, A-9 y A-10.

En los comentarios anteriores ya nos hemos referido en parte a estas actividades. En la A-8, los alumnos suelen indicar la posibilidad de sumergir una jeringuilla en agua y calentar, obteniendo así una tabla del volumen frente a la temperatura. El profesor puede optar por la realización de la práctica, precisando todo lo que sea necesario el diseño sugerido (necesidad de sustituir la jeringuilla por un matraz con un capilar horizontal, y el émbolo por una gota de mercurio, para que las variaciones de volumen sean perceptibles, forma de calentar uniformemente, etc) o bien por pasar directamente a la actividad siguiente, en donde se da ya una tabla de resultados. Un asunto interesante es la extrapolación de la gráfica obtenida para ver a qué temperatura el volumen del gas se haría cero (cero absoluto de la escala Kelvin). Aunque, obviamente, este sea un proceso irrealizable (ya que a cierta temperatura finita, todo gas se condensará para formar un líquido), no por ello deja de tener su interés didáctico. Además, la fijación del cero absoluto se establece partiendo de datos obtenidos entre cero y 100 °C, en donde las atracciones intermoleculares a las cuales se debe la condensación, son prácticamente inapreciables. (Masterton-Slowinski, 1980). Los alumnos pueden comprender así el carácter límite del cero absoluto de temperaturas, como algo imposible de alcanzar.

A-11 La expresión conocida como "ley de los gases perfectos", obtenida anteriormente en la actividad cuatro, no se cumple en la realidad mas que de forma aproximada, habiendose observado que cuanto mayor

es la presión a que se somete un gas, menos se ajusta su comportamiento a dicha ecuación. Intentar justificar este hecho.

Comentarios A-11.

Con esta actividad se pretende que los alumnos lleguen a comprender el carácter de aproximación que la ley $PV/T = \text{cte}$ (y en general cualquier ley) tiene. Por supuesto, los alumnos son capaces de entender que si aumenta mucho la presión a que se somete un gas, las condiciones consideradas en el modelo se alteran: ya no puede suponerse que el volumen ocupado por las partículas sea despreciable en comparación con el volumen del recipiente, ni tampoco que las partículas no se ejerzan entre ellas otras fuerzas que las de la colisión, etc.

A-12 Una jeringuilla herméticamente cerrada contiene 10 cc de aire a la presión de 1 atmósfera y a 25 °C de temperatura. Calcular:

- a) La presión que ejerce sobre las paredes el aire contenido cuando ocupa un volumen de 3 cc a la temperatura de 25 °C.
- b) El volumen que ocupará el aire contenido si, dejando libre el émbolo su temperatura se eleva a 50 °C.
- c) La presión del aire cuando la temperatura se eleve a 50 °C pero manteniendo fijo el émbolo en su posición inicial.

Comentarios A-12.

Se trata de una actividad para el manejo de las leyes estudiadas, con objeto de conseguir la familiarización de los alumnos con las mismas.

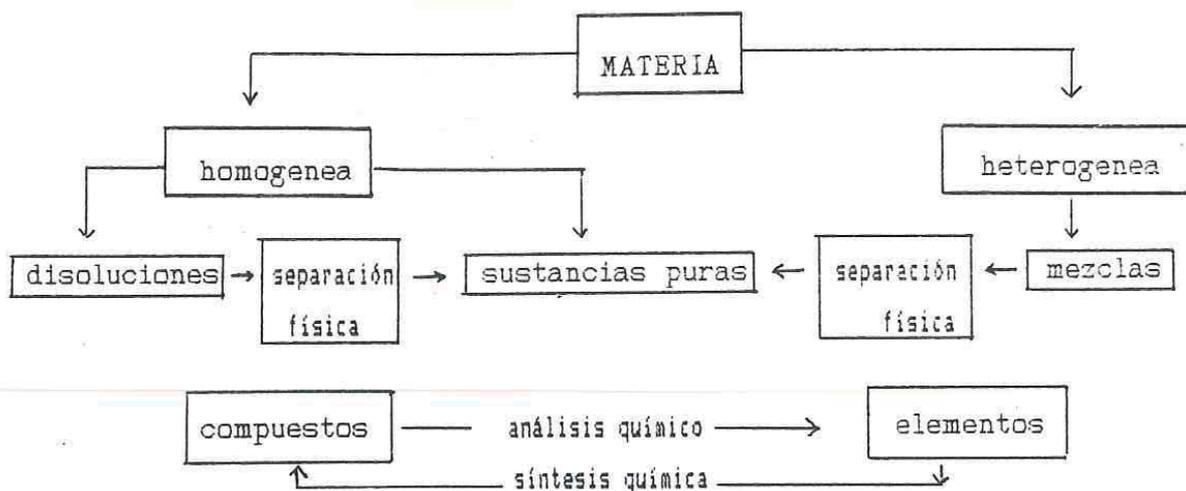
1.2 Contribución de la información química acumulada en la época de Dalton, al establecimiento de la estructura atómica de la materia.

Tal como hemos señalado, el establecimiento de la estructura atómico molecular de la materia, es el resultado, básicamente, del estudio del comportamiento de los gases y de la gran cantidad de información química que había ya acumulada en la época de Dalton. Esta adquisición de información química ha estado asociada a la puesta a punto de técnicas básicas de laboratorio (al final del capítulo veremos algunas de dichas técnicas) y a la elaboración de conceptos como los de elemento, compuesto etc. Comenzaremos por considerar dichos conceptos fundamentales que, aunque ya conocidos, se prestan a algunas confusiones.

A-13 Considerar los conceptos de elemento, compuesto, mezcla, disolución, sustancia pura, análisis, síntesis, sistema homogéneo y sistema heterogéneo y estableced un esquema que muestre las relaciones existentes entre los mismos, con objeto de clarificar y precisar su significado. Proponer también ejemplos sobre cada uno.

Comentarios A-13.

Muchos alumnos suelen tener problemas en la distinción entre elemento y compuesto, mezcla y combinación etc, como se pone a veces de manifiesto cuando proponen los ejemplos que se les pide en la actividad que comentamos. Así por ejemplo, en muchos casos proponen el agua como una mezcla, el aire como un compuesto etc, haciendo necesarias las aclaraciones pertinentes por parte del profesor, que siempre tendrán que basarse en la hipótesis atómica de la materia. Un ejemplo de esquema construido por los alumnos, después de estas discusiones, es el siguiente:



A-14 Se calienta agua a 100 °C en un recipiente cerrado. Indicar cual de las siguientes proposiciones es correcta:

- a) El vapor obtenido es una mezcla de hidrógeno y oxígeno.
- b) El producto obtenido sigue siendo agua.

A-15 Se quema con una cerilla un poco de alcohol en un plato hasta que no queda nada líquido. Indicar cual de las siguientes proposiciones es correcta:

- a) Los gases obtenidos son el resultado de la vaporización del líquido. Es decir, seguirán siendo alcohol, pero en estado gaseoso.
- b) El alcohol es una mezcla de sustancias que se separan cuando se vaporiza.
- c) Entre los gases obtenidos hay productos diferentes del alcohol, que resultan de combinarse éste con el oxígeno del aire.

Comentarios A-14 y A-15.

Las actividades anteriores guardan relación con los preconceptos que poseen los alumnos sobre elemento, compuesto, etc, y cuando son

resueltas por estos, permiten al profesor percatarse sobre la extensión de los mismos y dedicar el tiempo necesario para su erradicación. Es conveniente que llegados a este punto, el profesor se refiera brevemente a las dificultades que históricamente tuvieron lugar en la clasificación de las sustancias como elementos y compuestos, citando, por ejemplo, cómo durante el siglo XVIII, en la lista de los "elementos" químicos, se incluían también muchos compuestos "recalcitrantes" que permanecieron como elementos hasta que la electrolisis y otros medios poderosos, pudieron separarlos en sus componentes.

Aunque el desarrollo inicial de la Química es confuso y aparece relacionado como es lógico con las concepciones vigentes en la época (por ejemplo, la búsqueda de la piedra filosofal o del elixir de la eterna juventud), la hipótesis atómica que hemos desarrollado al estudiar el comportamiento de los gases, terminó jugando un papel esencial a la hora de explicar importantes hechos que se observaban al estudiar las reacciones químicas, algunos de los cuales veremos a continuación:

A-16 Partiendo de la hipótesis atómica, derivad consecuencias contrastables respecto a las cantidades de sustancias que intervienen en las reacciones químicas.

Comentarios A-16.

Con esta actividad se trata de establecer dos consecuencias básicas, de la hipótesis atómica de la materia: a) La conservación de la masa. b) La constancia de las proporciones en que intervienen dos o más elementos para formar un compuesto. Conviene una orientación del profesor en la discusión de los alumnos, ya que esta actividad suele resultarles difícil. La conservación de la masa no ofrece dificultades y es propuesta rápidamente por los alumnos, pero no así la constancia de las proporciones. Conviene hacer aquí alguna referencia a la historia de la química (trabajos de Lavoisier y Froust, particularmente).

A-17 Un metal cuando se oxida sufre un aumento de masa. Dad una interpretación de este hecho, indicando de que forma podría verificarse que no se contradice el principio de conservación de la masa.

A-18 Diseñad algún montaje sencillo que pueda servirnos para verificar en el laboratorio el principio de conservación de la masa.

Comentarios A-17 y A-18.

Todo el problema de la verificación del principio de la conservación de la masa consiste en conseguir un buen aislamiento y disponer de una balanza lo suficientemente sensible. Para las reacciones en las que no intervienen gases, no existe gran problema. Los alumnos proponen generalmente el pesar los reactivos junto con el recipiente en donde se hallan, y una vez producida la reacción se vuelve a pesar el conjunto.

A-19 *Sugerid una experiencia para contrastar experimentalmente la hipótesis de las proporciones constantes.*

A-20 *Para verificar la hipótesis de las proporciones constantes se ha realizado un análisis de distintas muestras de un compuesto formado por nitrógeno (N) e hidrógeno (H), obteniéndose los siguientes resultados:*

m_N (en g)	5.56	10.88	19.85	29.98	37.59
m_H (en g)	1.19	2.33	4.25	6.42	8.05

a) *Interpretar los resultados obtenidos.*

b) *Calcular la cantidad de nitrógeno que se combinará con un gramo de hidrógeno y cuanto amoníaco se obtendrá.*

A-21 El compuesto alcohol etílico reacciona con el oxígeno para producir dióxido de carbono y vapor de agua. Se ha determinado experimentalmente que cuando 46.0 g de alcohol etílico reaccionan exactamente con 96.0 g de oxígeno, se forman 54.0 g de agua y una determinada cantidad de dióxido de carbono.

- a) Calcular la cantidad de dióxido de carbono que se ha formado.
- b) ¿Qué cantidad de oxígeno se necesitará para reaccionar completamente con 8.0 g de alcohol etílico?

Comentarios A-19, A-20 y A-21.

En la A-19 los alumnos suelen referirse a procesos de análisis o síntesis de un compuesto. El profesor puede concretar entonces, proponiendo un caso concreto, por ejemplo: la síntesis del cloruro de cinc. En primer lugar se plantea el problema de su obtención. Los alumnos sugieren normalmente el procedimiento directo (formación del compuesto a partir de cloro y cinc). Una vez discutido y elegido el método más sencillo (cinc con ácido clorhídrico), se procede a diseñar la experiencia. Esta consistiría en hacer reaccionar distintas cantidades conocidas de cinc, con ácido clorhídrico en exceso, calentar para evaporar el ácido que sobre, y volver a pesar. Para interpretar los datos recogidos, se calcularía el cociente entre la masa inicial de cinc, y la del cloro correspondiente en cada caso (obtenida esta última restandole a la masa del cloruro de cinc la del cinc). También puede recurrirse a la representación gráfica de la masa de Cl_2 frente a la del Zn, viendo si sale una línea recta. En caso de no ser posible la realización de ésta práctica, se puede optar por proporcionar a los alumnos tablas de valores como se hace en la A-20, para que procedan a su interpretación. Es conveniente plantear actividades de afianzamiento de las leyes introducidas (A-20 y A-21). Así mismo interesa señalar de forma sencilla y breve, las limitaciones de las mismas, haciendo referencia fundamentalmente a la existencia de compuestos no estequiométricos y al campo de validez del principio de conservación de la masa.

1.3 Hipótesis atómica de Dalton.

A modo de síntesis abordaremos los trabajos de Dalton que, como podrá constatarse, presentan indudables semejanzas con las ideas y resultados obtenidos hasta aquí. Ello será un buen exponente de la validez del trabajo realizado.

A-22 Exposición por el profesor de los trabajos de Dalton.

A-22 (bis). Buscar en algún texto los trabajos de Dalton sobre la hipótesis atómica.

A-23 Exponed vuestras opiniones sobre la validez actual de la teoría atómica de Dalton.

Comentarios A-22, A-22 (bis) y A-23.

El objetivo de estas actividades es sintetizar todo lo visto, mostrando cómo las ideas expuestas coinciden con las existentes en la hipótesis atómica de Dalton. Respecto a la A-23 en concreto, los alumnos señalan entre otras cosas, que los átomos si que se pueden destruir (citan los procesos de fisión) y que la fórmula del agua no es HO como proponía Dalton, sino H₂O.

2. Desarrollo de la hipótesis atómico-molecular.

2.1 Trabajos de Gay-Lussac sobre reacciones químicas.

Gay-Lussac prosiguió su investigación sobre el comportamiento de los gases estudiando los volúmenes de los gases que intervienen en las reacciones químicas. De acuerdo con lo visto sobre el comportamiento de los gases, el estudio de los volúmenes que se combinan, puede dar información sobre la proporción en que se combinan las partículas. Vamos a estudiar pues, algunas reacciones entre gases.

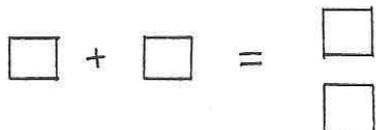
A-24 Partiendo de la ecuación general de los gases, indicar que relación puede haber entre el número de partículas contenidas en volúmenes iguales de distintos gases a la misma presión y temperatura.

Comentarios A-24.

Los alumnos, partiendo de la ecuación general de los gases enunciada en la A-4 como $PV = KNT$, llegan a enunciar que "el número de partículas contenido en volúmenes iguales de distintos gases que estén a la misma P y T, tiene que ser el mismo. El profesor, en esta actividad, comentará los trabajos de Gay-Lussac y Avogadro durante la primera mitad del siglo XIX, y el interés de los mismos en el establecimiento de la estructura atómico-moléculas de la materia. De hecho conviene señalar que Gay-Lussac había constatado que los volúmenes de gases que reaccionan están en una proporción numérica muy sencilla, lo cual se interpreta fácilmente si se supone, como los propios alumnos han indicado, que "volúmenes iguales de diferentes gases en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas". Esto mismo fue postulado por Avogadro, como algo que ayudaba a explicar las reacciones entre gases.

Las relaciones entre volúmenes y partículas nos permite estudiar las proporciones de partículas que reaccionan a partir de las relaciones de volúmenes observadas. En ello reside el interés de los trabajos de Gay-Lussac.

A-25 Al realizar Gay-Lussac sus experiencias se encontró con que al estudiar la reacción entre el cloro e hidrógeno gaseosos en determinadas condiciones de presión y temperatura, ocurría que:



Cada volumen de cloro que reaccionaba, lo hacía con un volumen igual de hidrógeno y se obtenían dos volúmenes de cloruro de hidrógeno:

a) Deducid la relación entre el número de partículas de los distintos gases que intervienen en la reacción propuesta.

b) ¿Cuales podrían ser las fórmulas del hidrógeno, cloro y cloruro de hidrógeno para que se cumplan las proporciones establecidas?

Comentarios A-25.

El objetivo fundamental de esta actividad, es que los alumnos vean la necesidad de que tanto el hidrógeno como el cloro, estén formados por agregados de (al menos) dos átomos H_2 y Cl_2 y no por átomos sueltos de H y de Cl, como sugería la hipótesis de la máxima simplicidad de Dalton. Los mismos alumnos, piensan a menudo que el hidrógeno, cloro, nitrógeno, etc, están formados por partículas monoatómicas. Las limitaciones de estas ideas, deben ser resaltadas por el profesor, que utilizando esta y las actividades siguientes, se referirá a la importancia de los trabajos de Gay-Lussac para establecer las fórmulas correctas de muchos compuestos.

A-26 Interpretar la siguiente reacción, escribiendo la ecuación química correspondiente:

"Por cada litro de nitrógeno gas que se combina con tres litros de hidrógeno gas, se obtienen dos litros de amoníaco gas, a presión y temperatura constantes".

A-27 Interpretar la siguiente reacción, escribiendo la ecuación química correspondiente:

"Por cada dos volúmenes de hidrógeno gaseoso, que se combinan con un volumen de oxígeno gaseoso, se obtienen dos volúmenes de agua gas a presión y temperatura constantes".

A-28 *Dad el significado de las fórmulas químicas de los compuestos manejados en las actividades anteriores (HCl, NH₃ y H₂O).*

2.2 Determinación de masas atómicas relativas.

La interpretación de los datos volumétricos mediante las ideas de Avogadro permitía establecer las fórmulas de los compuestos basándose en datos experimentales, y de este modo, como veremos a continuación, se pudieron comparar las masas de los átomos de los distintos elementos.

A-29 *Al descomponer 0.365 g de cloruro de hidrógeno (HCl), se ha obtenido 0.355 g de cloro y 0.010 g de hidrógeno. Por otra parte, como ya hemos visto antes, en la A-28, en el cloruro de hidrógeno, por cada átomo de hidrógeno hay un átomo de cloro. ¿Cuántas veces es mayor la masa del átomo de cloro que la del hidrógeno?*

A-30 *Cuando se obtiene amoníaco, se comprueba que cada gramo de hidrógeno que reacciona lo hace con 4.67 g de nitrógeno. Por otra parte sabemos que en el amoníaco (NH₃), por cada tres átomos de hidrógeno hay un átomo de nitrógeno. Con los datos anteriores, calcula cuántas veces es mayor la masa del átomo de nitrógeno que la del hidrógeno.*

A-31 *Cuando decimos que la masa atómica relativa del oxígeno es 16, queremos decir que:*

- a) *Un átomo de oxígeno tiene una masa de 16 g.*
- b) *Un átomo de oxígeno tiene una masa 16 veces mayor que la masa de un átomo de hidrógeno.*

Otro problema que tiene fácil solución es el cálculo de las masas moleculares de los elementos y los compuestos. Solamente se necesita conocer las fórmulas de las moléculas de dichas sustancias.

A-32 Buscando los datos necesarios, calcula la masa molecular relativa de los siguientes compuestos:

- a) monóxido de carbono: CO
- b) butano: C_4H_{10}
- c) sulfato de aluminio: $Al_2(SO_4)_3$

Comentarios A-29, A-30, A-31, y A-32.

Con el establecimiento de las fórmulas correctas para los compuestos se dispone del instrumento adecuado para determinar las masas atómicas y moleculares relativas, que es lo que se propone en estas actividades. La A-29, no ofrece ningún problema para los alumnos, ya que la proporción es de un átomo de cloro por cada átomo de hidrógeno. Sin embargo la A-30, exige un mayor esfuerzo, ya que los alumnos han de darse cuenta en este caso que cada átomo de nitrógeno tiene una masa 4.67 veces mayor que TRES átomos de hidrógeno. Estos razonamientos cualitativos pueden ser apoyados después mediante sencillos cálculos matemáticos. Hemos considerado conveniente en este nivel el comenzar por utilizar como patrón comparativo para las masas atómicas relativas, la masa del átomo de hidrógeno, señalando que actualmente dicho patrón es el átomo de carbono. Además, dado que se van a manejar compuestos, que no presentan moléculas, se debe insistir en el significado que puede tener la masa molecular relativa para este tipo de compuestos. La actividad A-31, sirve para detectar ciertas confusiones en torno al significado de la masa atómica y también algunos errores metodológicos cometidos a menudo por los alumnos, consistentes en no analizar minimamente la validez de un resultado, ni siquiera viendo si es o no lógico el valor numérico obtenido. Con este mismo fin se propone la actividad siguiente.

A-33 ¿Que quiere decir que la masa molecular del agua es 18?

2.3 Ensayos de ordenación de los elementos: El sistema periódico.

A lo largo del siglo XX fue aumentando el número de elementos conocido y determinándose con más precisión sus propiedades. Se observaron semejanzas en el comportamiento químico de algunos elementos, hasta el punto de atribuirles caracteres de "familias", por ejemplo los halógenos (F, Cl, Br, I). Esto hizo pensar en la posibilidad de una clasificación de los elementos que diera cuenta de las semejanzas y diferencias de comportamiento observado.

Por otra parte, el avance realizado en la determinación de masas atómicas, proporciona una base cuantitativa para distinguir unos elementos de otros para su ordenación.

Se realizaron varios intentos de ordenación, basados en general en las semejanzas de propiedades químicas y físicas, y también en las masas atómicas. Sin embargo la mayor aportación la realizó Dimitri Ivanovich Mendeléeff (1834-1907) que recoge todos los trabajos de la época y establece una ordenación que, según sus propias palabras, se basa en los siguientes conceptos:

"La clasificación más corriente de los elementos en metales y no metales está basada en las diferencias físicas entre ellos, pero dicha división no es tan nítida como parecía. Por ejemplo, el fósforo y otros elementos, actúan como metales o como no metales, según las ocasiones... Algunos grupos de elementos, sin duda, forman un todo y representan una serie natural de manifestaciones semejantes de la materia (halógenos, grupo del nitrógeno, alcalino-terreos etc), pero el descubrimiento de nuevos elementos tales como el rubidio, el cesio y el talio, para los que no se había previsto sitio en las familias de elementos hasta entonces elaboradas, indicaba lo limitados que eran nuestros conocimientos... Por otra parte, las propiedades físicas de los elementos, tales como las ópticas, eléctricas, magnéticas etc, no pueden servir como guía para una clasificación de los mismos, pues aunque muchas de dichas propiedades se han determinado con precisión para algunos de ellos, lo cierto es que un mismo elemento, puede presentar enormes diferencias en sus propiedades según el estado en que se encuentre. Así por ejemplo podemos citar el caso del grafito y el diamante,

Sin embargo a pesar de las diferencias entre las propiedades que un elemento puede presentar, según el estado en que se encuentre, existe "algo" que no cambia, que nos permite afirmar que se trata del mismo elemento... En este sentido, el único valor que no cambia, que es el mismo tanto en el elemento libre (cualquiera que sea su estado), como cuando se haya combinado con otros formando compuestos, es *la masa atómica del elemento*. Por esta razón, me he ocupado de buscar un sistema de clasificación de los elementos químicos, basandome en las masas atómicas. El primer intento que hice en esa dirección fué el siguiente: Seleccioné los elementos de masa atómica más pequeña y los ordené de manera creciente. Con esto ví que aparecía una periodicidad en sus propiedades..."

A-34 *Analizar el texto de Mendeléeff y extraer las ideas más importantes de la clasificación periódica.*

A-35 *Al ordenar los elementos químicos entonces conocidos, según su masa atómica creciente, Mendeléeff se dió cuenta de que el titanio (Ti) que tiene propiedades similares al carbono (C), y al silicio (Si), (grupo IV), caía sin embargo en el grupo III (boro y aluminio) repitiendose la situación con los elementos que seguían al Ti, cuyas propiedades cuadraban más con las del grupo siguiente que con las del que caían. Este mismo problema se le planteó posteriormente con otros elementos. Dar una posible explicación que justifique este hecho.*

A-36 *Cita elemetos que tengan propiedades similares al bromo, al magnesio y al sodio, respectivamente.*

Comentarios A-34, A-35 y A-36.

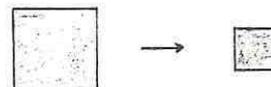
El texto de Mendeléeff ofrece un ejemplo más de que la Química, no queda limitada al estudio descriptivo de los elementos químicos y sus compuestos; con una mera catalogación de observaciones no

construimos una ciencia. Se pretende encontrar un orden y simplicidad en el aparentemente complejo mundo de las sustancias químicas. Se agrupan los elementos por propiedades análogas y se buscan las causas de esas semejanzas, en un intento de encontrar normas para una ordenación sistemática de los elementos. Mendeléeff no se hacía ilusiones de encontrar porqué los elementos se ordenaban de aquella manera, pero creía firmemente que su trabajo conduciría a una explicación, y que entre tanto podría concentrarse el interés en la determinación de masas atómicas, en el descubrimiento de nuevos elementos (tuvo que dejar huecos en su sistema periódico) y en el hallazgo de nuevas analogías entre los mismos. Los alumnos no suelen tener problemas en la resolución de las actividades. En la A-35, aparece fácilmente la idea de que el lugar en donde había caído el Ti, correspondía a un elemento todavía por descubrir (el Sc). El profesor puede confirmar la validez de la explicación y comentar además que estudiando las propiedades de los elementos de alrededor de los huecos, Mendeléeff pudo incluso, hacer acertadas hipótesis sobre las propiedades y características de los elementos aún no descubiertos, que los habrían de ocupar...

3. Actividades complementarias.

A-37 *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 se comprueba fácilmente con una jeringuilla). Esto se interpreta correctamente diciendo que: (señalar la respuesta correcta).*

a) *El aire es como una esponja (todo continuo), que al presionar se reduce.*



b) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen de tamaño.



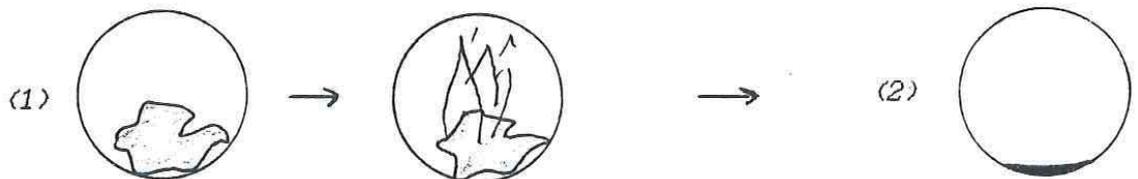
c) Son las partículas las que al ser comprimidas se reducen de tamaño.



A-38 Experimentalmente se observa que al calentar mucho el hierro, se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porque: (Escribir verdadero o falso a la derecha de cada proposición).

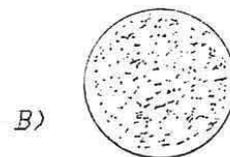
- a) Las uniones entre los átomos de hierro cambian, de forma que se debilitan, muchas se rompen etc.
- b) Los átomos de hierro inicialmente duros, se hacen cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura.

A-39 Dentro de una esfera cerrada y transparente hay un trozo de papel, como se indica en la figura adjunta. Mediante una lupa hacemos arder totalmente el papel. Si pesamos todo el recipiente antes (1) y después (2) de la combustión, resultará que (señala con una cruz la propuesta correcta):



- a) El peso de (1) será menor que el de (2).
- b) El peso de (1) será igual que el de (2).
- c) El peso de (1) será mayor que el de (2).

A-40 La figura A, representa una esfera conteniendo en su interior 20 g de agua líquida. A continuación se calienta el agua hasta conseguir que toda ella se encuentre en estado gaseoso (figura B). Señalar con una cruz la proposición más correcta:



a) B pesará lo mismo que A, b) B pesará un poco menos, c) B pesará 20g menos.

Comentarios A-37, A-38, A-39, A-40

Las cuatro actividades anteriores inciden sobre conocidos preconceptos que pueden afectar a los alumnos, y se han puesto aquí como actividades complementarias para que el profesor haga uso de ellas cuando convenga.

A-41 Haced una síntesis del tema remitiendo a las actividades.

A-42 Enunciar los aspectos de la metodología científica que se han practicado en este tema, citando las actividades correspondientes.

A-43 Confeccionar una lista de los términos científicos que se han manejado en el presente tema, indicando brevemente el significado de los mismos.

Las 43 actividades anteriores, constituyen esencialmente el programa guía para comenzar el estudio de la estructura de la materia como primer tema de Química. En dicho tema se ha resaltado el importante papel que en el establecimiento de la estructura atómico-molecular de la materia, jugó toda la información química acumulada durante siglos. Sin embargo, el

trabajo de los químicos e incluso de los alquimistas, no solo se tradujo en proporcionar una serie de conocimientos, sino también en la puesta a punto de toda una serie de técnicas básicas de laboratorio, sin cuyo desarrollo no hubiese sido posible avanzar. La familiarización con los instrumentos y técnicas más usuales en un laboratorio químico, ha de ser precisamente uno de los objetivos básicos en un curso de iniciación a la Química. A continuación se plantean, con este propósito, una serie de problemas concretos que conducirán a diseñar los instrumentos apropiados e idear las técnicas necesarias para su resolución. Todo ello, naturalmente, sin ningún ánimo exhaustivo, conscientes de que son posibles numerosas variantes. Se trata pues, de una propuesta abierta que puede ser enriquecida y adaptada a las distintas circunstancias de cada laboratorio y nivel. Además, las actividades han de ir desarrollándose a lo largo de un amplio periodo, sin pretender realizarlas todas de forma consecutiva al final de este tema. Los problemas que nos hemos planteado son:

- a) Medida de volúmenes.
- b) Calentamiento uniforme de sustancias.
- c) Separación de sustancias.
- d) Determinación de masas.
- e) Preparación de disoluciones de concentración conocida.
- f) Trabajo con tubo y varilla de vidrio.

- a) Medida de volúmenes.

A-45 La medida de volúmenes de líquidos, disoluciones, etc... constituye una de las actividades más frecuentes en el laboratorio químico. Para ello se utilizan diversos instrumentos según las cantidades manejadas, grado de precisión exigido, etc. Con objeto de facilitar la familiarización con el uso de dichos instrumentos proponemos el diseño de sendos utensilios para:

1. *Medida de cantidades variables de por ejemplo hasta 200 cc (170 cc, etc).*

2. Medida de pequeñas cantidades variables, de por ejemplo hasta 10 cc (2 cc, 6 cc, etc).
3. Medida lo más precisa posible, de una cantidad fija y grande, como por ejemplo 250 cc.
4. Medida precisa de cantidades pequeñas, de por ejemplo hasta 50 cc (17.3 cc, 44.6 cc, etc).

A-46 Proceded al manejo de los instrumentos diseñados.

A-47 Estimar aproximadamente la capacidad de algunos recipientes y proceder a su determinación precisa utilizando los instrumentos adecuados.

Comentarios A-45, A-46 y A-47.

Con la A-45, se consigue que los alumnos "reinventen" la probeta, el matraz aforado, la pipeta y la bureta. A continuación se pueden proporcionar dichos instrumentos para su manejo reiterado, así como frascos vacíos de distinta capacidad pidiéndoles una estimación de la misma y por último, proceder a su determinación precisa. Las principales dificultades aparecen en torno al enrase correcto, así como a la forma adecuada de realizar la lectura. Por lo demás se trata de actividades que no presentan mayor problema.

b) Calentamiento uniforme de sustancias.

A-48 Proponer una técnica para el calentamiento suave de un recipiente que contiene sustancias que no deben ser sometidas a sobrecalentamientos locales.

Comentarios A-48.

Los alumnos proponen el "baño maria". El profesor puede referirse al "baño de arena" para temperaturas superiores. En esta misma actividad puede plantearse la forma de calentar un tubo de ensayo directamente, evitando los excesivos sobrecalentamientos y consiguientes proyecciones. Conviene que los alumnos adquieran práctica manejando los tubos de ensayo con pinzas de madera. Así mismo se aprovechará la ocasión para aprender a manejar el mechero Bunsen (entrada de gas-aire, partes de la llama, etc), resolver problemas tales como por ejemplo la forma de evitar el ennegrecimiento de los tubos de ensayo, etc.

c) Separación de sustancias.

La mayor parte de sustancias aparecen mezcladas o disueltas, uno de los primeros trabajos de la Química, desde el punto de vista histórico, ha sido su separación y purificación en orden a posibilitar su estudio. A continuación veremos algunos problemas de separación.

A-49 Sugerid algún procedimiento para separar las sustancias que se encuentran mezcladas en la muestra proporcionada por el profesor. Se trata concretamente de eliminar la sustancia blanca hasta que quede unicamente la formada por los granos más oscuros.

¿Cómo tener la seguridad de haber eliminado totalmente la sustancia blanca?

Proceded a realizar la separación en el laboratorio.

Comentarios A-49.

Se trata de proporcionar a los alumnos una mezola de arena y sal común. Como es lógico, la apariencia de las sustancias proporcionadas -que son facilmente reconocidas- sugiere el tratamiento con agua,

donde una de las sustancias es soluble y la otra no. A partir de aquí, la filtración es la técnica ordinariamente propuesta por los alumnos. En ocasiones se sugiere la decantación previa. Es conveniente aprovechar la ocasión para que los alumnos se familiaricen con la elaboración de filtros (pliegue y normal). Respecto a cómo averiguar que no queda sal en la arena, es frecuente la propuesta de recurrir al sabor del filtrado. Ello permite al profesor realizar algunas puntualizaciones:

- a) Los peligros del "sabor" como técnica de análisis.
- b) La escasa fiabilidad de dicha técnica: el agua potable contiene cantidades apreciables de cloruro de sodio que el sabor no permite reconocer.

Conviene pues recurrir a otros procedimientos. Si no lo hacen los alumnos, el profesor puede sugerir el utilizar alguna sustancia que dé con el cloruro de sodio algún color característico o algún precipitado, etc. Este será en general el procedimiento seguido. En este caso concreto, puede utilizarse el nitrato de plata.

A-50 Muy a menudo hay que recurrir a las propiedades de las sustancias para proceder a su separación. Estas propiedades suelen recopilarse en los llamados "libros de datos". A partir de la siguiente información obtenida en un libro de datos, describe qué harías para separar una mezcla de cloruro de sodio y cloruro de amonio:

<i>sustancia</i>	<i>fórmula</i>	<i>solubilidad</i>	<i>punto de fusión</i>	<i>aspecto</i>
<i>cloruro de sodio.</i>	<i>NaCl</i>	<i>35</i>	<i>801°C</i>	<i>cristales blancos</i>
<i>cloruro de amonio.</i>	<i>NH₄Cl</i>	<i>37</i>	<i>sublima a 350°C</i>	<i>"</i>

(La solubilidad viene dada en g de soluto en 100 g de agua)

Comentarios A-49.

Si un componente de una mezcla presenta sublimación, esta propiedad puede ser utilizada para separarlo del resto de los componentes. Calentando pues, adecuadamente la mezcla proporcionada, en una campana extractora, los vapores blancos serán el cloruro de amonio, y el residuo sólido restante será cloruro de sodio.

A-50 *El vino contiene, fundamentalmente, alcohol etílico y agua, líquidos que son perfectamente miscibles, y pequeñas cantidades de otras sustancias disueltas.*

a) *Indicar un procedimiento para separar el alcohol de sus restantes componentes.*

b) *Proceded a la destilación del vino, diseñando previamente con detalle el dispositivo adecuado.*

Comentarios A-50.

La idea de proceder a hervir el vino y condensar sus vapores, suele aparecer sin dificultad. Es necesario que el profesor indique que una destilación no conduce a una separación total, obteniéndose, eso sí, una mezcla más rica en alcohol. Puede hacerse referencia a las torres de destilación.

A-51 *La cromatografía es una técnica de separación de sustancias basada en la distinta rapidez de avance de los componentes de la mezcla a lo largo del papel, cuando el disolvente fluye por él:*

Comprobar mediante separación cromatográfica, que la tinta de bolígrafo es una mezcla de sustancias. Utilizar para ello simplemente una tira de papel de filtro colocada verticalmente sobre una probeta que contenga etanol-agua (al 50%) y situar una gota de tinta en la parte baja de la tira. Describir lo que se observa.

A-52 Sugerir algun procedimiento para separar completamente los dos líquidos inmiscibles que contiene el frasco proporcionado, evitando al máximo las pérdidas.

Comentarios A-51 y A-52.

Con la A-51, se hace referencia a las técnicas cromatográficas, se trata de una experiencia de resultados muy claros. En la A-52, se puede proporcionar una mezcla de benceno y agua. Aunque la simple decantación desde el frasco aparece como la respuesta más habitual, hay también propuestas más elaboradas, como la de utilizar un embudo provisto de llave.

A-53 Proponer una técnica de obtención de cristales puros de sulfato de cobre, a partir de polvo de la misma sustancia, mezclado con otros sólidos insolubles.

Comentarios A-53.

Las propuestas de los alumnos giran entorno a la preparación de disoluciones que se dejarían en reposo para que cristalizara el sulfato de cobre disuelto. El profesor puede añadir más información, señalando la conveniencia de que dichas disoluciones sean sobresaturadas, se dispongan en recipientes adecuados (cristalizadores), etc

d) Determinación de masas.

La balanza es un instrumento fundamental en un laboratorio de Química, por lo que es necesario conocer su manejo:

A-54 Se desea pesar 2.25 g de sal común. Imaginad algún procedimiento cómodo y suficientemente preciso para hacerlo.

Comentarios A-54

Se trata de proporcionar a los alumnos algunas muestras para que las pesen, haciendo algunas consideraciones sobre la forma de pesar: Por ejemplo: ¿Se debe pesar poniendo la muestra directamente sobre el platillo?. ¿Cómo pesar una sustancia higroscópica?. Utilización de pesasustancias, de la espátula etc.

e) Preparación de disolventes de concentración conocida.

A-55 *Indicar detalladamente cómo podríamos preparar una disolución de cloruro de sodio cuya concentración sea de 12 g de cloruro de sodio por litro de disolución.*

Comentarios A-55.

Las propuestas iniciales de los alumnos suelen contener errores más o menos graves (desde la utilización de una probeta en vez de un matraz aforado, a añadir los gramos de sal a 1 litro de agua), que han de ser corregidos en la discusión.

f) Trabajo con tubo y varilla de vidrio.

Muchas de las conexiones que aparecen en los montajes de laboratorio son de vidrio, por lo que es conveniente saber trabajarlo. Así por ejemplo para recoger gases necesitamos tubos doblados, para calcular puntos de fusión necesitamos capilares, etc

A-56 *Cortar tubo de vidrio. Doblar vidrio en ángulo recto y en ángulo menor. Construir capilares. Redondear y aplanar varillas.*

Comentarios A-56

El trabajo con vidrio es muy interesante, ya que forma parte de muchos diseños experimentales que se pueden proponer para llevar a cabo determinadas reacciones químicas. De esta forma el material que los alumnos pueden elaborar aquí, puede utilizarse en prácticas posteriores.

7-2 Resultados obtenidos en la contrastación de que en los grupos experimentales se produce una disminución significativa en el porcentaje de errores conceptuales respecto a los alumnos de control.

Se trata esta, de una de las contrastaciones fundamentales de este trabajo: Comprobar que el aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, permite una drástica reducción de los errores conceptuales habitualmente cometidos por los alumnos. Para ello hemos recogido y analizado los resultados de las distintas pruebas que durante más de cuatro años se han pasado tanto entre alumnos de control como experimentales. En esencia, tal y como se detalla en el diseño correspondiente (ver pág 189), se trata de comparar entre sí dichos resultados.

Comenzaremos por referirnos a los resultados correspondientes al Cuestionario I (pág 52). En la TABLA 18 (pág 239), se exponen los resultados obtenidos, por los grupos experimentales y de control, en las cuestiones referidas a caída de graves, y en la TABLA 19 (pág 240), los resultados obtenidos respecto al concepto de fuerza. Recordemos que al grupo experimental de 2º de BUP, se le pasó el Cuestionario I completo, al poco de que finalizaran la mecánica. Sin embargo al grupo experimental de 1º de Magisterio, en el momento en que terminaron mecánica, se les pasó únicamente la parte de caída de graves, y sólo al cabo de cuatro meses se les pasó el cuestionario completo (caída de graves y concepto de fuerza). Con ello se pretendía comprobar hasta qué punto se producía una sólida retención de los conceptos impartidos, y por supuesto, comparar los resultados obtenidos, con los de los grupos de control, donde, como ya se indicó en la primera parte de este trabajo, se les pasó el mismo cuestionario completo, nada más de terminar de ver la mecánica. Recordemos también que la columna encabezada por TODO MAL indica los porcentajes de alumnos de cada grupo que contestaron mal a las tres cuestiones y la encabezada por ALGUNA O TODAS MAL, los que contestaron mal a por lo menos una de las tres cuestiones.

En las gráficas 6 y 7 (págs 241 y 242), se reproducen los resultados de las tablas 18 y 19 respectivamente, para facilitar así una visión global y rápida de los mismos. En la tabla 18, el grupo experimental de 1º de Magisterio se repite dos veces, diferenciándose por la letra (a) o (b). Se trata del mismo grupo de alumnos al que, como ya hemos indicado, se le volvieron a pasar las mismas cuestiones de caída de graves, más tarde (formando parte del cuestionario I, completo). Al observar los resultados de ambas tablas, puede verse que existen en ambos problemas diferencias muy significativas en cuanto a los porcentajes de error. Particular interés reviste la columna encabezada por "todo mal", que por ejemplo en el caso de Magisterio pasa de un 47.5% en el grupo de control, a tan sólo un 2.6% en el experimental, para las cuestiones sobre caída de graves; y de un 60.0% en el de control a un 0% en el experimental para el caso del concepto de fuerza.

Utilizando tanto la prueba de X^2 como la t de Student, se constata que las diferencias encontradas difícilmente pueden deberse a causas aleatorias. Para ello hemos escogido las cuestiones de caída de graves y del concepto de fuerza en que los porcentajes de error en los grupos experimental y control, están más próximos ya que si el resultado es satisfactorio para estos, con mayor razón lo será para el resto. Así tanto para la tercera cuestión de caída de graves, como para la tercera del concepto de fuerza, y finalmente para la columna de "alguna o todas mal", de caída de graves, hemos encontrado que para los grupos de segundo de BUP, los valores de X^2 indicaban diferencias significativas. Así por ejemplo, para la tercera cuestión sobre caída de graves resulta, en 2º de BUP, $X^2 = 17.56$, mientras que el valor mínimo necesario para considerar que las diferencias observadas no son debidas al azar -con una probabilidad de que lo sean menor del uno por mil- es de $X^2 = 10.828$. Análogas conclusiones se obtienen mediante el cálculo de la t de Student.

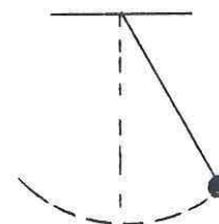
TABLA 18. Correpondiente a Cuestionario I. (Caida de graves)

% de respuestas erroneas

Curso	N	1ª	2ª	3ª	Todas mal	Alguna o todas mal
2º B.U.P. Control	196	73,7 (3.1)	83,7 (2.6)	78,2 (2.9)	63,7 (3.4)	97,5 (1.1)
2º B.U.P. Experim.	39	35,9 (7.7)	40,6 (7.9)	44,1 (7.9)	6,32 (7.7)	54,2 (8.0)
Magisterio Control	145	66,1 (3.9)	67,6 (3.9)	75,2 (3.6)	47,5 (4.1)	97,6 (2.7)
Magisterio Experim, (a)	44	2,6 (2.4)	10,2 (4.6)	10,2 (4.6)	2,6 (2.4)	15,3 (5.4)
Magisterio Experim, (b)	44	4,5 (3.1)	15,9 (5.5)	13,6 (2.3)	2,3 (2.3)	27,3 (6.7)

1ª Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo.
¿Cuanto tiempo tardará otro de doble masa dejado caer desde la misma altura?

2ª En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple
Indicar señalando Si, No o No sé, en cada caso, si el periodo depende o no de cada uno de los siguientes factores:



a) Longitud del hilo; b) Masa del cuerpo; c) Valor de la gravedad;

3ª Se lanza verticalmente hacia arriba un objeto, alcanzando una altura de 6m, ¿Qué altura alcanzará otro cuerpo lanzado con la misma velocidad, si su masa es la mitad que la del primero?

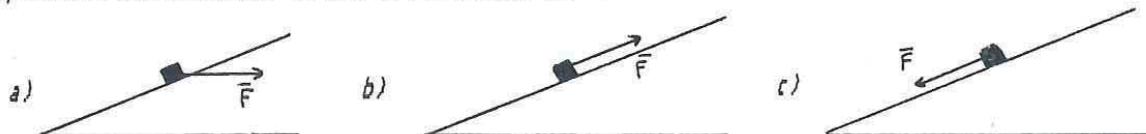
TABLA 19. Corrediente a Cuestionario I. (Concepto de fuerza)

% de respuestas errneas

Curso	N	1a	2a	3a	Todas mal	Alguna o todas mal
2º B.U.P. Control.	196	86,8 (2.4)	69,7 (3.2)	98,0 (1.0)	49,5 (3.6)	100
2º B.U.P. Experim.	39	33,3 (7.5)	27,7 (7.1)	57,9 (7.9)	2,5 (2.5)	67,5 (7.5)
Magisterio Control.	145	81,4 (3.2)	71,7 (3.7)	98,7 (1.4)	60,0 (4.1)	100
Magisterio Experim.	44	15,9 (5.5)	4,5 (3.1)	11,4 (4.8)	0	22,7 (6.3)

1a Las observaciones más comunes muestran que para que un cuerpo permanezca en movimiento, es preciso que una fuerza esté actuando sobre él, de forma que se cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones se deben interpretar correctamente diciendo que las fuerzas son la causa de,.....

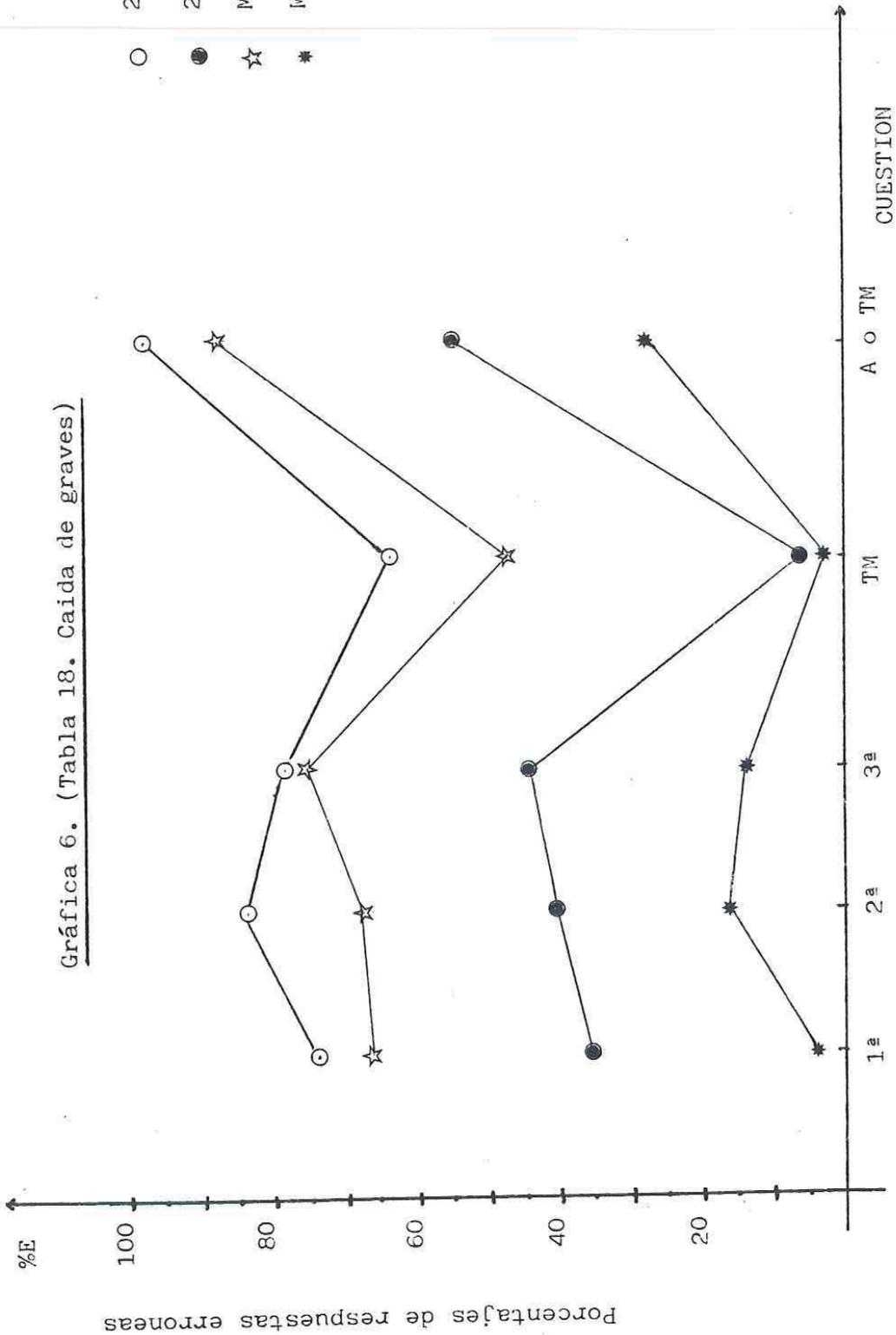
2a Un cuerpo es lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar cual de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende.



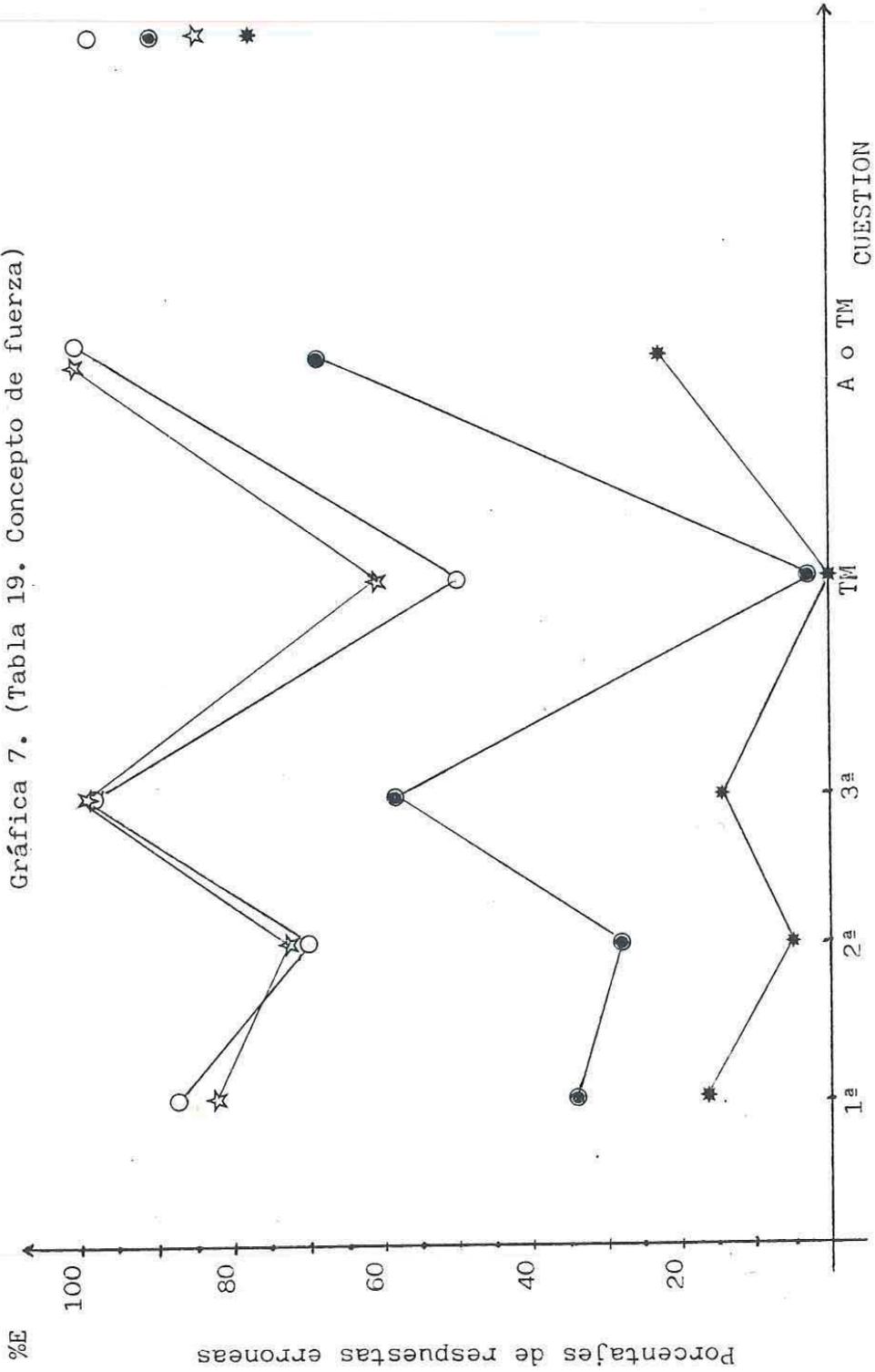
3a Señalar verdadero, falso o no sé, en cada una de las siguientes proposiciones:

- Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, deberá de estar en reposo.
- El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- Si en un instante dado, la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre dicho cuerpo en ese mismo instante también lo será.

Gráfica 6. (Tabla 18. Caída de graves)



Gráfica 7. (Tabla 19. Concepto de fuerza)



Tras la obtención de los resultados anteriores, ampliamos el número de cuestionarios destinados a ser pasados entre los alumnos de los grupos experimentales. A continuación exponemos los resultados obtenidos al utilizar los Cuestionarios V (pág 77), VI (pág 79) y VIII (pág 88):

El cuestionario V, fue pasado entre los siguientes alumnos experimentales: 65 de segundo de BUP, correspondientes a dos institutos de enseñanza media, 29 de tercero de BUP, 34 de COU, y 48 alumnos correspondientes a dos grupos que se encontraban haciendo el Curso de Aptitud Pedagógica (CAP). El mismo cuestionario fue pasado a 114 alumnos de control, de COU, y 195 profesores de Física y Química de enseñanza media no tratados. Los resultados se recogen en la TABLA 20 (pág 244).

El cuestionario VI se pasó a los siguientes grupos experimentales: 31 alumnos de 2º de BUP, 29 de 3º de BUP y 31 de COU. En cuanto a los grupos de control, el mismo cuestionario, se pasó a 265 alumnos de COU, 136 alumnos del CAP y 195 profesores de Física y Química de enseñanza media. Los resultados se muestran en la TABLA 21 (pág 245).

El cuestionario VIII se utilizó con 64 alumnos de 2º de BUP de dos centros estatales, como grupo experimental y con 251 alumnos de 2º de BUP (correspondientes a cuatro centros de enseñanza distintos). Los resultados se exponen en la TABLA 22 (pág 246).

Es necesario indicar que las cuestiones de química de los cuestionarios V y VI, se suprimieron para los alumnos de BUP, ya que en este nivel no se trata la materia correspondiente.

TABLA 20. Correspondiente al Cuestionario V.

% de respuestas erroneas.

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 77)

Curso	N	1a	2a	3a	4a
2º BUP Experim.	65	72,3 (5,6)	58,5 (6,1)	43,8 (6,1)	--
3º BUP Experim.	29	73,7 (8,2)	31,6 (8,6)	15,8 (6,8)	--
COU, Experim.	34	67,5 (8,0)	33,3 (8,1)	30,8 (7,9)	75,0 (7,4)
COU Control.	114	99,1 (0,9)	87,7 (3,1)	73,7 (4,1)	94,7 (2,1)
CAP Experim.	48	79,2 (5,9)	28,7 (6,5)	8,3 (4,0)	50,0 (7,2)
Profesores Control	195	89,7 (2,2)	64,1 (3,4)	48,7 (3,6)	68,2 (3,3)

TABLA 21. Correspondiente al Cuestionario VI

% de respuestas erróneas.

(Ver enunciado de las cuestiones en pág 79)

Curso	N	1ª	2ª	3ª	4ª
2º BUP Experim.	31	32,2 (8.4)	61,3 (8.7)	64,3 (8.6)	--
3º BUP Experim.	29	36,8 (8.9)	57,9 (9.2)	41,6 (9.2)	--
COU, Experim.	31	26,4 (7.9)	22,6 (7.5)	48,0 (8.9)	90,3 (5.3)
CAP Control	136	82,4 (3.3)	75,0 (3.7)	80,1 (3.4)	98,1 (1.0)
Profesores Control	195	60,0 (3.5)	60,5 (3.5)	67,2 (3.3)	94,9 (1.6)

TABLA 22. Correspondiente al Cuestionario VIII.

% de respuestas erróneas.

(Ver anunciado de las cuestiones en pág 88)

Curso	N	1a	2a	3a	4a	5a	6a
2º BUP Experim.	64	55,5 (6,2)	46,9 (6,2)	25,4 (5,4)	39,6 (6,1)	48,4 (6,2)	7,8 (3,3)
2º BUP Control.	251	95,9 (1,3)	87,3 (2,1)	81,7 (2,4)	71,3 (2,9)	98,0 (0,9)	70,7 (2,9)

Como puede comprobarse mediante la inspección de las tablas 20, 21, y 22, los porcentajes de error son en general, mucho menores para los grupos experimentales que para los de control. Esta impresión inicial, queda confirmada cuando se procede al cálculo de X^2 entre los resultados de dos grupos. Cabe resaltar también, que los resultados de los grupos experimentales en muchas de las cuestiones, son incluso mejores a los obtenidos por los profesores no tratados.

Por otra parte, es preciso señalar que los profesores que impartían las clases a los grupos experimentales, daban Física de COU y no la Química, lo cual ha influido, sin duda, en que los porcentajes de error en la cuestión de Química (en donde no se empleaba la misma metodología), se mantengan excesivamente elevados. No obstante, como puede observarse, en el caso de los alumnos del CAP experimental (en donde se trataban aspectos también de Química), cuyos resultados se recogen en la Tabla 20, si se produce una disminución importante en el porcentaje de error.

Hasta aquí hemos recogido los porcentajes de error cometidos por los alumnos de control y por los experimentales cuando a ambos grupos se les pasaban los mismos cuestionarios. Sin embargo, algunas de las cuestiones utilizadas, han formado parte de muchos cuestionarios distintos, por lo que resulta de interés, reproducir los resultados obtenidos en cada caso y apreciar así la evolución producida. Como ejemplo hemos escogido la cuestión que consta de tres proposiciones sobre el concepto de fuerza, que ha sido una de las más utilizadas. El enunciado es el siguiente:

Señalar verdadero o falso en cada una de las siguientes proposiciones:

a) Si sobre un cuerpo no actúa fuerza alguna o si la fuerza resultante es nula, dicho cuerpo deberá de estar en reposo.

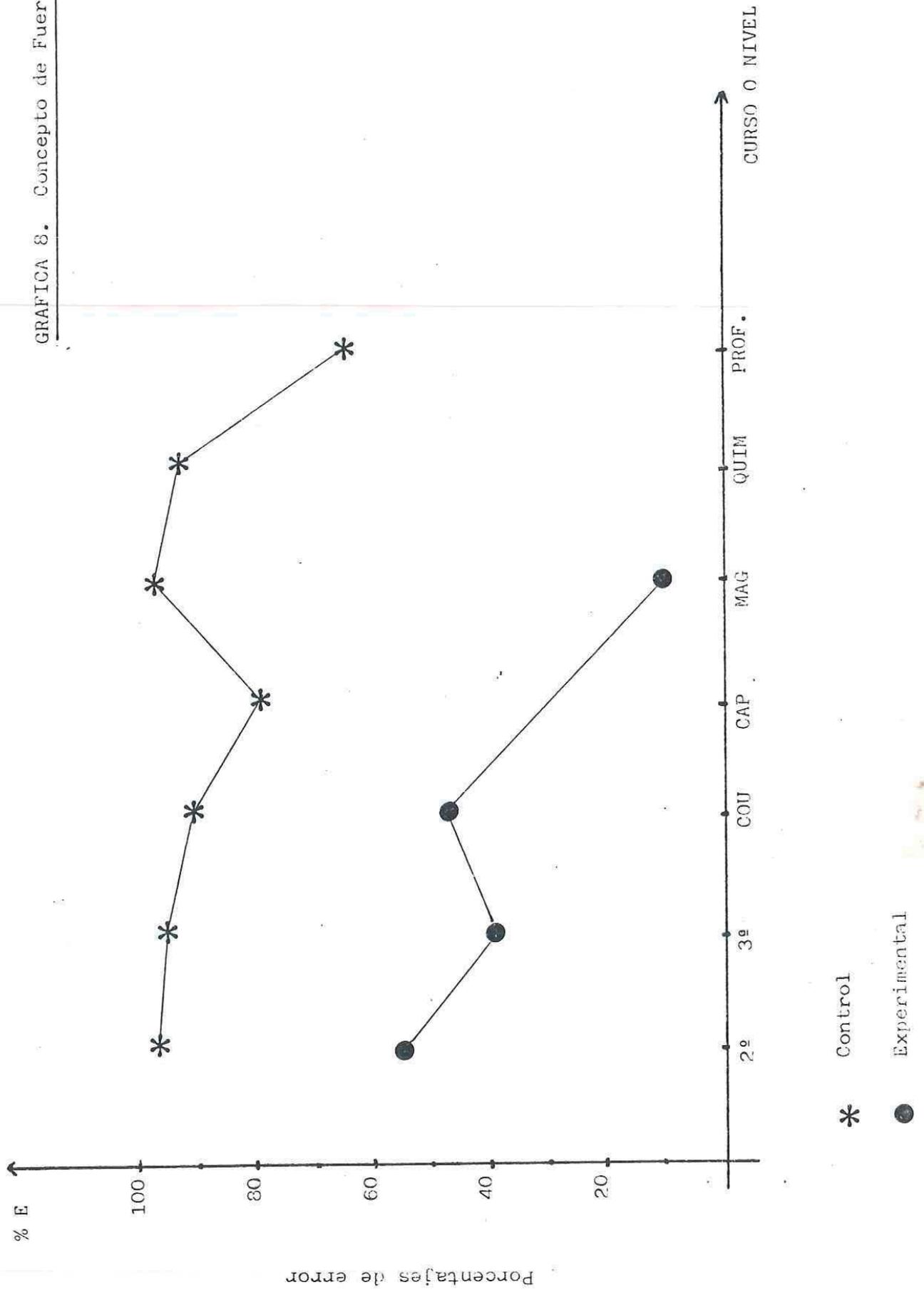
b) El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.

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

Dicha cuestión ha sido pasada entre los siguientes alumnos, pertenecientes a grupos de control: 447 alumnos de 2º de BUP, 213 de 3º de BUP, 510 de COU, 136 de CAP, 145 de 1º de Magisterio, 140 de 2º de Químicas y finalmente a 195 profesores de Física y Química de bachillerato. Respecto a los alumnos pertenecientes a grupos experimentales, fueron: 134 alumnos de 2º de BUP, 29 de 3º de BUP, 31 de COU y 44 de 1º de Magisterio. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Gráfica 8. En ella puede apreciarse cómo los resultados obtenidos en la cuestión analizada, por los alumnos de los grupos experimentales, están en todos los casos, por debajo de los obtenidos por los grupos de control. Incluso en el porcentaje de error más alto entre los grupos experimentales, es de destacar que está un poco por debajo al de los profesores no tratados.

Para terminar, expondremos los resultados obtenidos por medio del último diseño, elaborado para medir el cambio conceptual (seminario de Física y

GRAFICA 8. Concepto de Fuerza



Química del ICE de Valencia). En este caso se utilizó el Cuestionario IX (pág 191), el cual no fue conocido por ninguno de los nueve profesores participantes en la experiencia hasta el preciso instante de su utilización. Además, hemos de destacar, que la corrección de los resultados se realizó dos veces, de forma totalmente independiente: una primera por el profesor implicado y otra posterior por dos personas ajenas, de forma que en caso de discrepancia se escogía la peor calificación (es decir el caso más desfavorable a nuestra hipótesis).

En la TABLA 23 (pág 250), se dan los resultados obtenidos en cada una de las cuestiones, especificando cual es el objetivo que se mide y el porcentaje de respuestas correctas alcanzado en cada uno. Los mismos resultados, se reproducen también en forma de gráficas (ver Gráficas 9, 10 y 11 en las págs 251, 252, y 253 respectivamente). Las diferencias observadas, son en todos los casos estadísticamente significativas. En efecto, incluso en el resultado donde se da una menor diferencia (cuestión sexta, sobre la confusión entre trabajo y esfuerzo), resulta un valor de la t de Student $t = 4.74$, mientras que el valor proporcionado por la tabla de t para $\alpha = 0.01$ es de 2.58, lo cual nos indica que se trata de resultados significativamente distintos, con una probabilidad de que las diferencias sean debidas a causas aleatorias, menor del 1%.

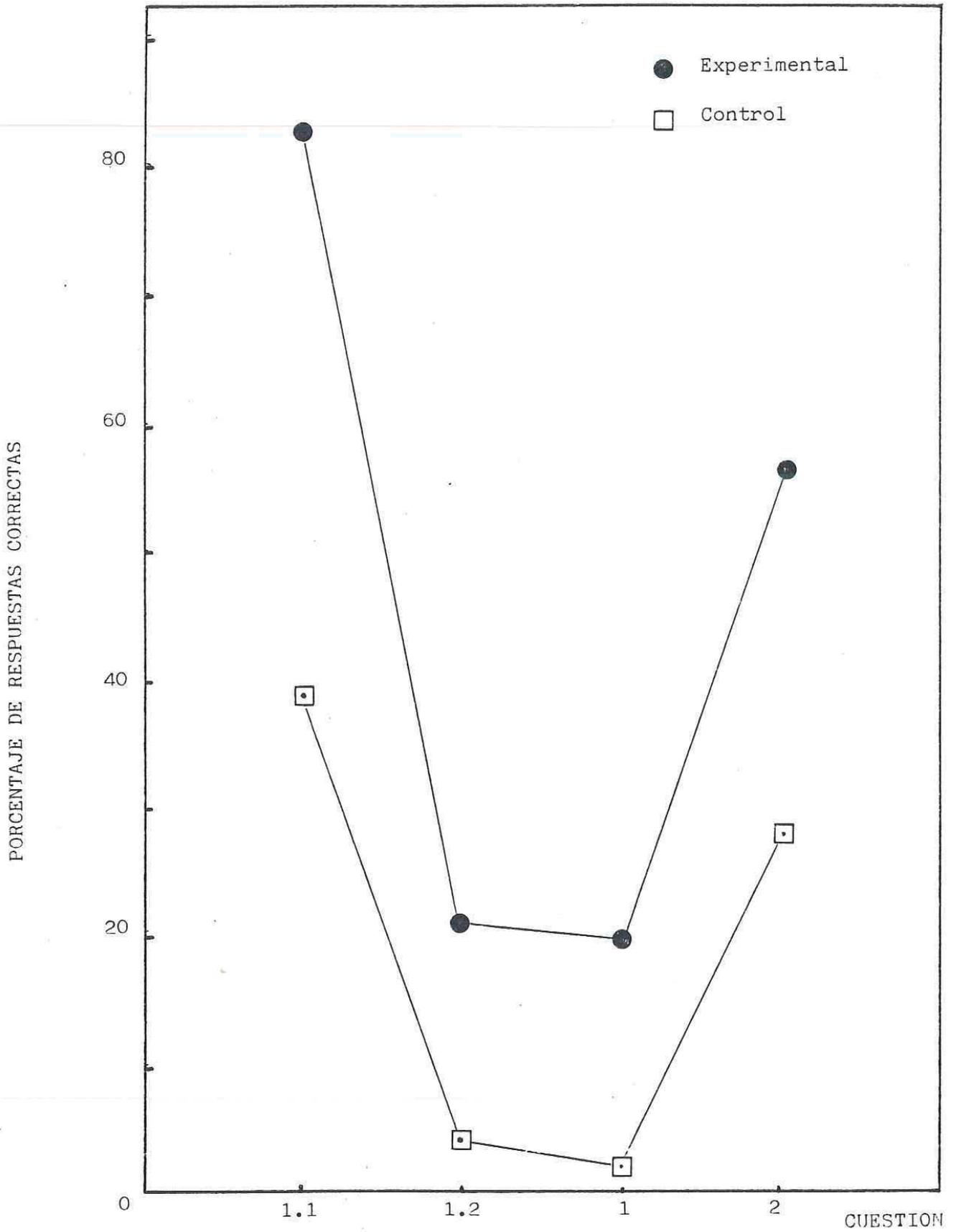
Así pues, hemos de concluir a la vista de todos estos resultados, en donde se han utilizado 5 cuestionarios, con un total de 20 cuestiones, implicando globalmente a más de 2000 alumnos y a cerca de 200 profesores de enseñanza media en activo, así como a más de diez profesores que han trabajado en sus clases utilizando la metodología propuesta, que se aprecia perfectamente un cambio conceptual entre los alumnos experimentales, mucho más extendido y sólido, que entre los alumnos de los grupos de control.

TABLA 23. Correspondiente al Cuestionario IX.

Resultados globales de los grupos experimentales (N = 392) y de Control (N = 234) en el Cambio conceptual. (Ver enunciados en página 191)

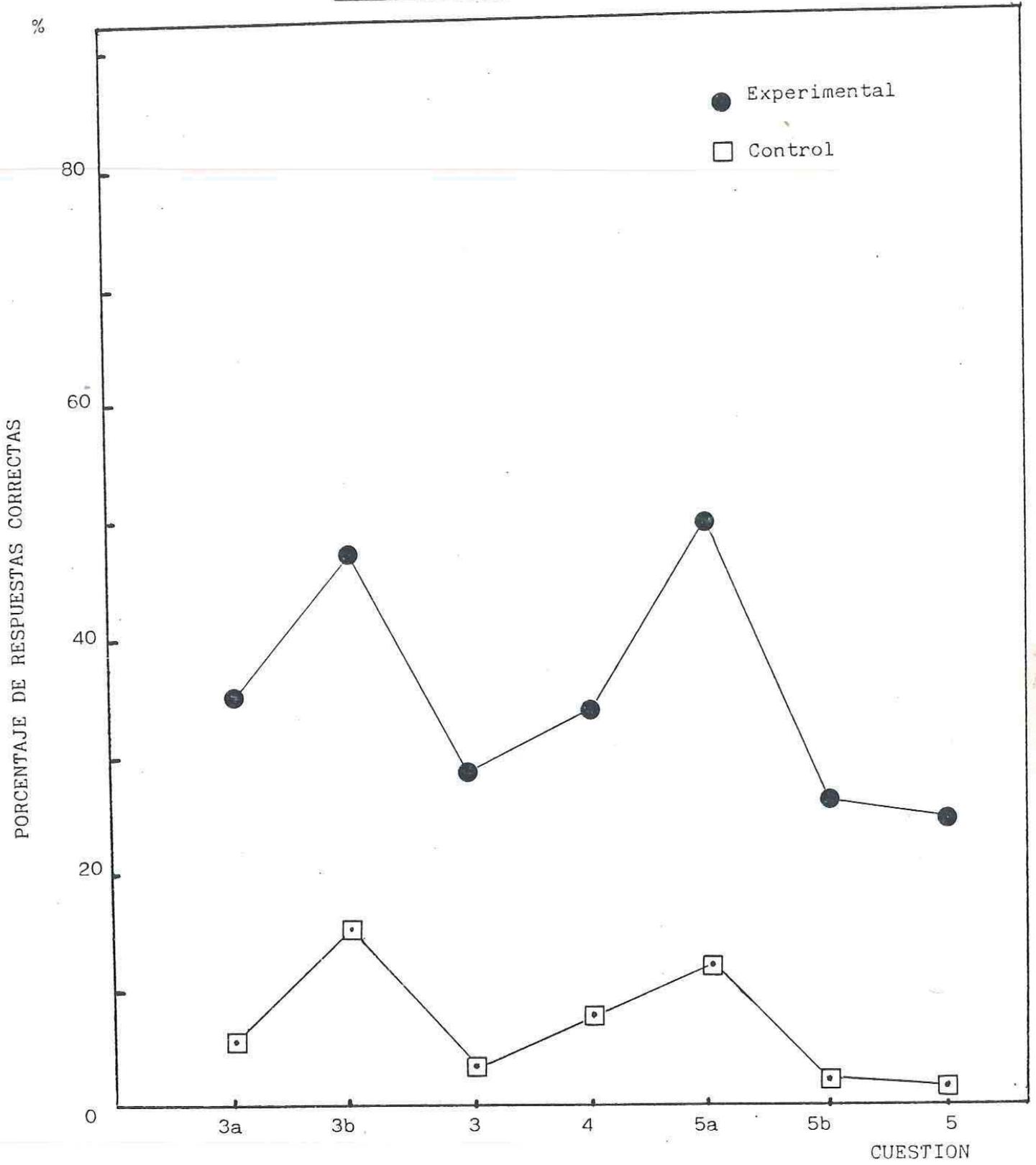
Campo	Item	Objetivo específico	Porcentaje respuestas correctas	
			Experimental	Control
Cinemática	1,1	La masa no influye	82,4 (1.9)	39,7 (3.2)
	1,2	Dibuja posiciones	20,9 (2.1)	4,7 (1.4)
	1	Correctas 1,1 y 1,2	19,9 (2.0)	2,6 (1.0)
	2	Interpreta V-t	55,6 (2.5)	28,2 (2.9)
Dinámica	3 a	Identifica interacción	34,7 (2.4)	5,6 (1.5)
	3 b	" "	47,2 (2.5)	15,0 (2.3)
	3	Correctas 3a y 3b	28,1 (2.3)	3,0 (1.1)
	4	No relaciona \bar{F} con \bar{V}	32,9 (2.4)	7,3 (1.7)
	5 a	Fuerzas iguales y opuestas durante el choque	49,2 (2.5)	11,5 (2.1)
	5 b	No relaciona \bar{F} con \bar{V}	24,7 (2.2)	1,7 (0.8)
	5	Correctas 5a y 5b	23,0 (2.2)	1,3 (0.7)
Energía	6	No identifica trabajo con esfuerzo	49,7 (2.5)	31,2 (3.0)
	7	Calor como proceso de cambio de energía	42,6 (2.5)	20,9 (2.5)

CAMBIO CONCEPTUAL EN CINEMATICA

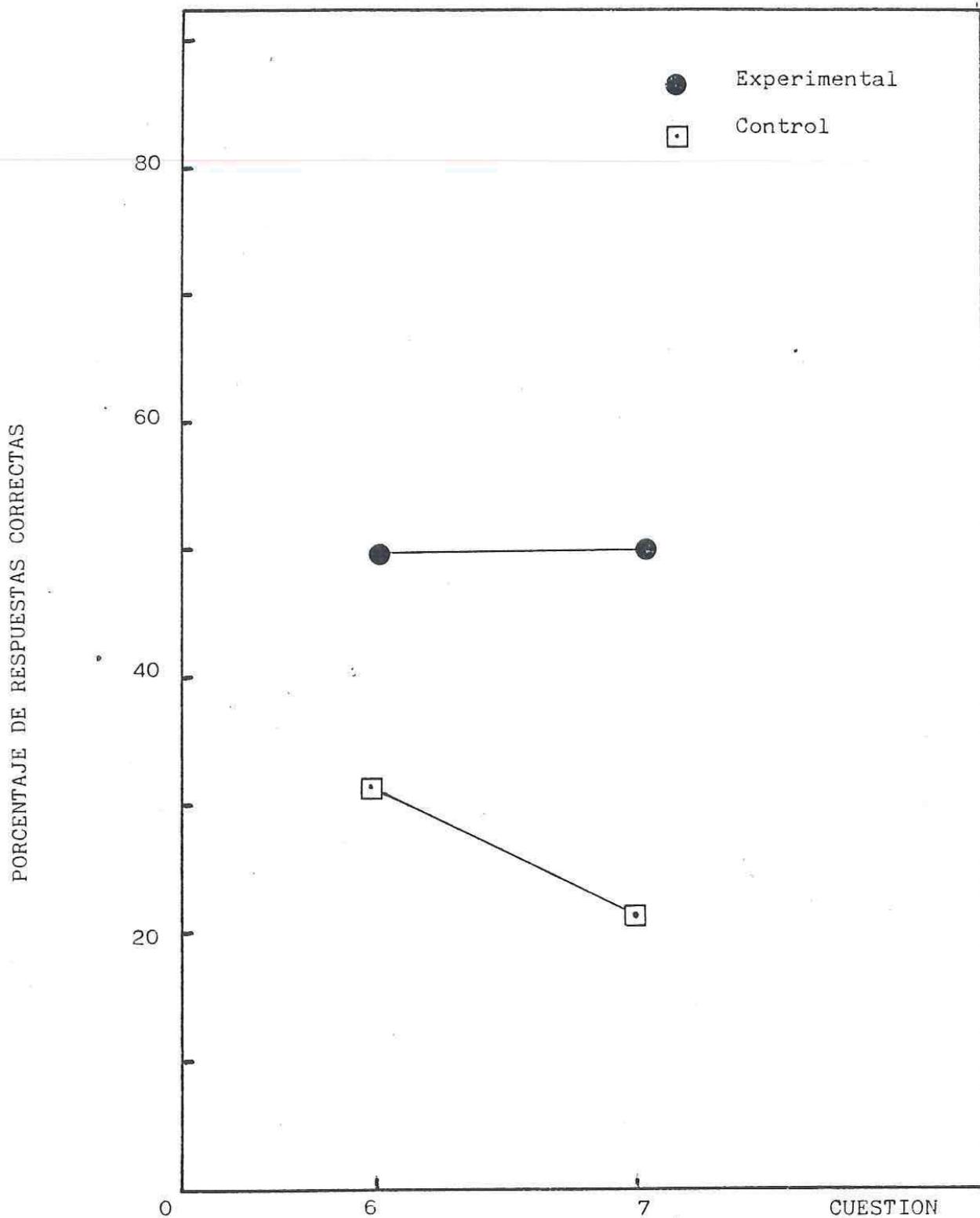


GRAFICA 10

CAMBIO CONCEPTUAL EN DINAMICA



CAMBIO CONCEPTUAL EN TRABAJO Y CALOR



7-3 Resultados obtenidos en la medida del Cambio Metodológico producido en los grupos experimentales.

Como ya se detalló en el diseño (pág 186), el cambio metodológico puede relacionarse además de con la disminución de errores conceptuales, con otros factores, tales como un aumento en los tiempos medios de respuesta para la cumplimentación de los cuestionarios y una mayor frecuencia de explicaciones, comentarios, etc, que los alumnos hacen a las diversas cuestiones. Todo ello indica, evidentemente, un mayor grado de reflexión y análisis en la resolución de los cuestionarios propuestos. A continuación, en la TABLA 24, exponemos los resultados obtenidos en las medidas que hemos realizado para determinar algunos tiempos medios de respuesta, en grupos de control y en grupos experimentales. En dicha tabla, se da el curso donde se pasó, el número de cuestionarios cumplimentados, el cuestionario empleado y el valor del tiempo medio de resolución, t_m , en minutos.

TABLA 24. Cambio Metodológico.

Curso	N	Cuestionario	t_m	S
2º BUP Control	172	VIII	12.9	2.9
2º BUP Experim.	64	VIII	17.2	1.6
COU Control	114	V	8.8	1.7
COU Experim.	34	V	11.1	2.0
CAP Experim.	48	V	15.8	4.7
COU Control	265	VI	8.9	1.9
COU Experim.	31	VI	11.4	1.8

Las diferencias observadas son en todos los casos estadísticamente significativas. Así por ejemplo, podemos calcular la t de la diferencia entre los dos valores de t_{α} más cercanos, correspondientes a los dos grupos de alumnos de COU en los que se pasó el Cuestionario V. El valor resultante es $t = 6.1$, todavía muy superior al obtenido de la tabla ($t = 2.62$, para $\alpha = 0.01$).

En cuanto a la inclusión o no, de justificaciones o comentarios en las respuestas que los alumnos dan a las diversas cuestiones (cosa a la que, como ya se ha indicado, se les invitaba a hacer expresamente, en todos los casos), hemos podido constatar cómo en las respuestas de los grupos de control, su presencia era realmente escasa. Así por ejemplo en el caso de los alumnos de control de segundo de BUP, el porcentaje de los que realizaron algún tipo de comentario, fue inferior al 10%, frente a un 50% en el caso de los alumnos experimentales del mismo nivel, a los que se pasó el mismo cuestionario. En el caso de los grupos de COU, el resultado global fue de un 13% en el caso de los alumnos de control, frente a un 52% en los alumnos experimentales. Como vemos se trata pues, de diferencias importantes en todos los casos analizados, que muestran cualitativamente una manera de enfrentarse a los problemas alejada de las contestaciones espontáneas e irreflexivas, sin ningún tipo de análisis, basadas la mayoría de las veces en el operativismo ciego, etc, que ya hemos tenido ocasión de analizar en la primera parte de este trabajo, y que tan estrechamente unidas se hallan con la metodología de la superficialidad.

Por otra parte, nos referíamos también en el diseño (pág 186) a otro tipo de factores, que constituyen también indicadores importantes del cambio metodológico conseguido. Se trata de la adquisición de ciertas habilidades tales como la capacidad para emitir y precisar hipótesis, analizar los resultados de un problema, etc. Para ello se elaboró el Cuestionario X (pág 197). Este fue pasado entre 394 alumnos experimentales y 234 alumnos de control, todos ellos de 2º de BUP, en las mismas condiciones que el Cuestionario IX, es decir, sin que fuese conocido de antemano por los profesores y siendo corregido también por personas, que no

impartieron las clases. En la TABLA 25 (pág 257), damos los resultados, en forma de porcentaje de respuestas correctas para cada una de las cuestiones.

TABLA 25 Cambio metodológico.

Resultados globales de los grupos experimentales (N = 392) y de Control (N = 234) en el Cambio metodológico. (Ver enunciado cuestiones en página 197).

Porcentaje de respuestas correctas

Item	Aspecto metodológico encuestado	Experimental	Control
1	Crítica correcta de hipótesis para apreciar cualitativamente la influencia de varias variables	28,8 (2,3)	15,4 (2,3)
2	Interpretación cualitativa de los resultados en un movimiento complejo	35,2 (2,4)	14,1 (2,3)

Los resultados obtenidos en este apartado, muestran, en nuestra opinión, la existencia entre los alumnos experimentales, de un comportamiento metodológico que se aleja de la habitual metodología de la superficialidad. Esto aparece claramente al considerar los menores porcentajes de errores conceptuales cometidos (ver apartado 7-2), y los aumentos en los tiempos medios de resolución de los cuestionarios, así como en la mayor frecuencia con que los alumnos incluyen justificaciones, comentarios, etc, a sus respuestas. En cuanto al desarrollo de la capacidad de inventar y precisar hipótesis, elaborar diseños experimentales, analizar los resultados obtenidos, etc, ya se comentó en el diseño, que se trataban de medidas más complejas. No obstante, los

resultados obtenidos, por los grupos experimentales, son comparativamente mucho mejores que los de los grupos de control, como puede verse facilmente en la Tabla 25. Sin embargo, es preciso que los profesores insistan más en el cambio metodológico, desarrollando durante sus clases el modelo propuesto, no sólo en la introducción de conceptos y las prácticas de laboratorio, sino también y fundamentalmente, en la resolución de problemas (Gil y Martínez Torregrosa, 1986), ya que en este aspecto, apenas se ha llevado a la práctica (incluso entre los profesores que utilizan habitualmente los programas-guía para impartir sus clases), y se trata de una pieza clave para conseguir un cambio metodológico en profundidad.

7-4 Resultados en la contrastación de que el comportamiento metodológico de los profesores de los grupos experimentales, se aleja significativamente de actitudes relacionadas con la metodología de la superficialidad.

Para comprobar este punto, se utilizó el Cuestionario VII (pág 84), según se detalla en el diseño correspondiente (pág 199). El total de alumnos implicados ha sido de 286, de los cuales 175 fueron de control y 111 experimentales. En la TABLA 26, que exponemos a continuación, damos los resultados obtenidos. Hemos creído conveniente reproducir el enunciado de cada una de las cuestiones y detallar debajo los resultados. El número de profesores experimentales fue de tres (correspondientes a otros tantos grupos de segundo de BUP).

TABLA 26. Correspondiente al Cuestionario VII.

(Algunos aspectos sobre metodología habitual del profesorado)

19) ¿Los profesores suelen dedicar los días anteriores a un exámen, alguna clase destinada revisar los conceptos más importantes, resolver posibles dudas etc?					
	Control	Experim.		Control	Experim.
nunca;	2,3 (1,1)	0	a menudo;	32,6 (3,5)	9,4 (2,9)
casi nunca;	17,7 (2,9)	0	siempre;	7,4 (2,0)	84,4 (3,4)
a veces;	40,0 (3,7)	6,3 (2,3)	no lo sé;	0	0
— — — — — sigue — — — — —					

— — — — — Tabla 26. (Continuación) — — — — —

29) ¿Cuanto tiempo suelen dejar para realizar los exámenes?

	Control	Experim.		Control	Experim.
mucho menos del necesario;	10,9 (2,4)	0	justo el necesario;	28,0 (3,4)	21,9 (3,9)
menos del necesario;	57,1 (3,7)	15,6 (3,4)	más del necesario;	4,0 (1,5)	56,3 (4,7)
no lo sé;	0	3,1 (1,5)	mucho más del nec,	0	3,1 (1,5)

30) ¿Has observado si los profesores suelen anotarse las incidencias de la clase? (Tareas propuestas a los alumnos, punto en donde se terminó la clase...)

	Control	Experim.		Control	Experim.
nunca;	12,6 (2,5)	0	a menudo;	13,1 (2,6)	31,3 (4,4)
casi nunca;	23,4 (3,2)	0	siempre;	1,7 (1,0)	43,8 (4,7)
a veces;	36,0 (3,5)	15,6 (3,4)	no lo sé;	13,2 (2,6)	9,4 (2,9)

— — — — — sigue — — — — —

Tabla 26. (Continuación)

4º) Cuando hacen una pregunta a algún alumno. ¿Suelen dejarle tiempo para pensar la respuesta?

	Control	Experim.		Control	Experim.
muy poco tiempo;	17,7 (2,9)	0	bastante tiempo;	20,0 (3,0)	75,0 (4,1)
poco tiempo;	59,4 (3,7)	25,0 (4,1)	mucho tiempo;	0	0
no lo sé;	2,9 (1,3)	0			

5º) La velocidad a la que suelen dar los temas es:

	Control	Experim.		Control	Experim.
muy grande;	14,5 (2,6)	0	lenta;	1,7 (1,0)	12,5 (3,1)
grande;	53,1 (3,8)	12,5 (3,1)	moderada;	30,3 (3,5)	71,9 (4,3)
muy lenta;	0	0	no lo sé;	0,5 (1,0)	3,1 (1,6)

6º) ¿Suelen dejar tiempo para que los alumnos manejen y asimilen durante la clase los nuevos conocimientos y conceptos a medida que se van introduciendo?

	Control	Experim.		Control	Experim.
mucho menos del neces;	21,7 (3,1)	0	justo el necesario;	15,0 (2,8)	59,4 (4,7)
menos del necesario;	62,3 (3,7)	21,9 (3,9)	más del necesario	0	15,6 (3,4)
mucho más del neces	0	0	no lo sé;	0	3,1 (1,6)

7-5 Resultados obtenidos en la valoración del modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico.

Seguidamente exponemos los resultados obtenidos al pasar el Cuestionario XI (pág 201) entre un total de 54 alumnos del Curso de Aptitud Pedagógica (CAP) y un total de 44 profesores de Física y Química de Enseñanza Media, en activo. Recordemos, que según se especifica en el diseño (pág 200), se trataba de que los alumnos del CAP y los profesores, que recibieron cursos mediante la metodología propuesta, realizaran al final de los mismos una valoración sobre la capacidad de dicha metodología frente a la tradicional, para incidir en una serie de aspectos claves de la enseñanza de las ciencias. Los resultados referidos a los alumnos del CAP se especifican en la TABLA 27 y los correspondientes a los profesores, en la TABLA 28. Con objeto de facilitar la interpretación, hemos optado por reproducir el enunciado de las cuestiones poniendo a la derecha de los mismos la calificación media correspondiente

TABLA 27. Evaluación de la Metodología propuesta.

Alumnos del CAP. (54 respuestas)

	Enseñanza habitual	Modelo propuesto
1ª Atención prestada a las ideas previas de los alumnos	2.1 (1.7)	8.4 (1.4)
2ª Favorecer los planteamientos cualita- tivos	2.5 (2.0)	8.5 (1.46)
3ª Favorecer la invención de hipótesis	1.2 (1.2)	8.8 (1.2)
4ª Diseñar montajes experimentales	2.8 (2.1)	8.1 (1.6)
5ª Facilitar la detección y corrección de errores conceptuales	2.4 (1.7)	8.4 (1.4)
6ª Impulsar a los alumnos a persistir ante problemas desconocidos	2.6 (1.9)	7.7 (1.4)
7ª Introducción no dogmática de los con- ceptos	3.3 (1.6)	8.0 (1.5)
8ª Realización de experimentos por los alumnos, sabiendo lo que persiguen	3.1 (2.1)	8.1 (1.6)
9ª Familiarizar a los alumnos con la metodología científica, y provocar un auténtico cambio metodológico	1.9 (1.5)	8.6 (1.2)

sigue

Tabla 27. (Continuación)

	Enseñanza habitual	Modelo propuesto
10ª Favorecer la participación de los alumnos	2.7 (1.8)	8.8 (1.4)
11ª Interesar a los alumnos por la Ciencia.	3.8 (1.8)	8.5 (1.2)
12ª Impulsar a la verbalización.	3.1 (2.0)	7.8 (1.6)
13ª Favorecer la interpretación de los resultados	3.6 (2.0)	8.6 (1.2)
14ª Provocar cambios conceptuales favoreciendo la adquisición de conocimientos científicos	2.9 (1.7)	8.2 (1.3)
15ª Contribuir a interesar a los profe sores, inmplicandoles en tareas de investigación/acción	3.0 (1.5)	8.3 (1.5)

TABLA 28. Evaluación de la Metodología propuesta.

Profesores de Física y Química de Enseñanza Media (44 respuestas)

	Enseñanza habitual	Modelo propuesto
1ª Atención prestada a las ideas previas de los alumnos	2.5 (1.9)	8.5 (1.4)
2ª Favorecer los planteamientos cualitativos	3.1 (2.8)	8.5 (1.4)
3ª Favorecer la invención de hipótesis	1.3 (1.8)	8.8 (1.3)
4ª Diseñar montajes experimentales	1.9 (2.0)	7.9 (1.8)
5ª Facilitar la detección y corrección de errores conceptuales	3.1 (1.9)	8.1 (1.1)
6ª Impulsar a los alumnos a persistir ante problemas desconocidos	2.4 (2.3)	7.9 (1.2)
7ª Introducción no dogmática de los conceptos	2.1 (1.5)	7.9 (1.2)
8ª Realización de experimentos por los alumnos, sabiendo lo que persiguen	3.1 (2.4)	8.6 (1.5)

sigue

Tabla 28. (Continuación)

	Enseñanza habitual	Modelo propuesto
9ª Familiarizar a los alumnos con la metodología científica, y provocar un auténtico cambio metodológico	2.3 (2.1)	8.0 (1.5)
10ª Favorecer la participación de los alumnos	3.2 (2.2)	8.5 (1.4)
11ª Interesar a los alumnos por la Ciencia	3.6 (2.0)	8.1 (1.2)
12ª Impulsar a la verbalización.	2.2 (2.1)	8.0 (1.4)
13ª Favorecer la interpretación de los resultados	3.8 (2.5)	8.6 (1.2)
14ª Provocar cambios conceptuales favoreciendo la adquisición de conocimientos científicos	3.0 (2.0)	8.0 (1.4)
15ª Contribuir a interesar a los profesores, implicándoles en tareas de investigación/acción	2.3 (2.2)	8.3 (1.3)

Como puede comprobarse, el modelo propuesto es valorado en todos los aspectos, de forma mucho más positiva que la enseñanza habitual. En efecto, en ambos grupos, las notas medias para cualquiera de los aspectos evaluados en el modelo didáctico propuesto, no bajan de 7.5 , siendo superiores a 8 en la mayoría de casos. Sin embargo, en el modelo habitual, ninguna nota media supera el 4. Las diferencias son, evidentemente, significativas en todos los casos. En efecto, calculando la t de Student para la pareja de valores que más se aproximan (en la cuestión 11ª de los profesores) resulta un valor de $t = 12$, mientras que el valor a partir del cual las diferencias pueden considerarse significativas con una probabilidad de que se deban a causas aleatorias menor del 1% es de 2.64. Hemos de destacar también la elevada puntuación que en el modelo propuesto, consiguen aspectos esenciales de la metodología propuesta, como por ejemplo la invención de hipótesis, que por otra parte, aparece muy mal calificada en el modelo tradicional (la diferencia de puntuación es mayor de 7 puntos en ambos grupos).

8. CONCLUSIONES FINALES

Tal y como señalábamos en la introducción, el objetivo de esta investigación, ha consistido en dar respuesta a dos cuestiones fundamentales:

a) *¿Cuáles son las principales causas de los errores conceptuales cometidos por los alumnos y también por parte del propio profesorado, en Física y Química?*

b) *¿Cómo conseguir influir de manera efectiva en la superación de los errores conceptuales en Física y Química?*

La investigación se inició mediante la emisión de dos hipótesis fundamentales, que podemos resumir como:

1ª La gran abundancia y persistencia de los errores conceptuales, se debe principalmente a que la didáctica habitual no tiene en cuenta los esquemas conceptuales de los alumnos, ni tampoco su metodología connatural de trabajo o metodología de la superficialidad.

2ª Los preconceptos científicos de los alumnos se hallan estrechamente vinculados con la metodología de la superficialidad o del sentido común, de forma que resulta imposible conseguir un verdadero cambio conceptual, a menos que este vaya acompañado de un profundo cambio metodológico. Este puede conseguirse mediante una orientación didáctica que plantee la construcción de los conocimientos siguiendo pautas similares a las del trabajo científico.

La contrastación de las consecuencias derivadas de ambas hipótesis ha proporcionado resultados coherentes entre si en todos los casos, permitiendonos enunciar las siguientes conclusiones:

X 1 Los preconceptos científicos de los alumnos existen realmente, sin que sea posible atribuir los errores conceptuales a otros factores, tales

como simples olvidos, respuestas arbitrarias que los alumnos dan para salir del paso, etc.

En efecto, algunos de los hechos que nos han permitido llegar a esta conclusión son:

-Las respuestas y explicaciones que los alumnos dan a diferentes cuestiones asociadas a un mismo concepto, revelan una clara coherencia.

-Algunas respuestas equivocadas a cuestiones simples, aparecen en porcentajes muy elevados, no sólo entre los alumnos más jóvenes, sino también entre los de niveles superiores e incluso entre parte del propio profesorado de Enseñanza Media. Recordemos por ejemplo que más del 60% del profesorado de Física y Química en activo, relaciona la fuerza con la velocidad. (ver pág 136)

-Los errores conceptuales afectan a diversos dominios científicos y se caracterizan porque los alumnos los cometen con una elevada seguridad de que lo que afirman es correcto. Esto ocurre principalmente en el área de la mecánica, que es en donde los alumnos defienden sus ideas con mayor insistencia. Así por ejemplo, el 83.3% de los alumnos de 2º de Químicas que conciben las fuerzas como causa del movimiento se ratifican en su idea, calificando la seguridad que tienen sobre la exactitud de esta respuesta, con una nota igual o superior a 8 (entre 0 y 10). (ver pág 121).

2 La enseñanza habitual de la Física y Química, no tiene en cuenta en general la existencia de ideas intuitivas diferentes de los conceptos científicos y susceptibles de generar errores conceptuales. A este respecto, podemos destacar que por ejemplo el porcentaje de libros de texto entre séptimo de EGB y COU, en donde no se propone ninguna actividad que al ser abordada por los alumnos permita detectar posibles errores conceptuales, superó el 85% en todos los casos analizados. El porcentaje en exámenes de BUP y de COU es también del mismo orden. Además, en los propios libros de texto, se cometen en ocasiones los

mismos errores conceptuales que hemos investigado (ver pág 127 y siguientes).

3 Los errores conceptuales se hallan íntimamente asociados con la metodología de la superficialidad o del sentido común, profundamente asumida por muchos alumnos, algunos de cuyos rasgos característicos son:

- Pensar en términos de certeza basada en evidencias de sentido común, como muestran los elevados índices de seguridad en las respuestas erróneas dadas.
- Proporcionar respuestas precipitadas sin reflexionar sobre sus implicaciones, posibles contraejemplos, etc.
- Operativismo mecánico con utilización acrítica de expresiones sin analizar siquiera su campo de validez, etc.

4 La enseñanza habitual de la Física y Química, favorece la utilización de la metodología de la superficialidad.

En efecto, a lo largo de la primera parte del trabajo, se señala que en la enseñanza habitual, apenas se utilizan actividades tales como la invención de hipótesis, el diseño de experimentos o incluso el mismo análisis de los resultados. Además, en la Tabla 16 (págs 149), se muestran distintos aspectos del comportamiento del profesorado en general, que están relacionados con actitudes propias de la metodología de la superficialidad. Así nos encontramos con que el 60% de los alumnos encuestados, considera que no se deja el tiempo necesario para la realización de los exámenes; el 67% que la velocidad a que se dan los temas es grande o muy grande; el 75% que los profesores cuando preguntan en clase, priman las respuestas rápidas, no dejando tiempo suficiente para pensar la respuesta, etc.

5 La metodología de la superficialidad es determinante en cuanto a la superación efectiva de los errores conceptuales, de modo que si no existe un cambio metodológico adecuado, el problema de los errores conceptuales no podrá ser verdaderamente eliminado, ni siquiera aun teniendo explícitamente en cuenta su existencia.

Los resultados en los que basamos esta conclusión se encuentran en la Tabla 17 (pág 152), en donde se muestra mediante el Cuestionario VIII, que no existen diferencias significativas entre dos grupos de alumnos de segundo de BUP, uno de ellos de profesores advertidos para que tuviesen en cuenta los preconceptos de sus alumnos y trataran de eliminar los errores conceptuales y el otro de profesores no advertidos.

6 Dado que los preconceptos más difíciles de erradicar, en donde los alumnos muestran un grado de seguridad mayor, son los correspondientes al area de la mecánica (ver a este respecto los resultados de las Tablas 5 y 6 pág 121), la utilización didáctica de dicho dominio, resulta un valioso instrumento para contribuir a conseguir un verdadero cambio conceptual y metodológico.

A continuación seguiremos con las conclusiones obtenidas en la contrastación de la segunda hipótesis. Dichas conclusiones pueden resumirse afirmando que: mediante una orientación didáctica que concibe el aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico, coherente con las características esenciales de la propia metodología científica (ver págs 18-24 y el capítulo 5), puede lograrse un progreso notable en el aprendizaje significativo de los conocimientos científicos. Ello supone, más detalladamente que:

7 Los alumnos pueden de hecho, participar activamente en la construcción de toda una serie de conocimientos científicos, que de otra forma se les suministran ya elaborados (ver ejemplo concreto en pág 205 y siguientes).

8 Entre los alumnos de los grupos experimentales se reduce de forma significativa el porcentaje de errores conceptuales.

Esta conclusión se apoya en el trabajo realizado durante más de cuatro años por un grupo de más de diez profesores de Física y Química, que ha venido desarrollando en sus clases la metodología propuesta, y a cuyos alumnos se les han pasado distintos cuestionarios y bajo diferentes circunstancias (ver los resultados de las Tablas 18, 19, 20, 21, 22 y 23, a partir de la pág 237). En todos los casos hemos podido constatar diferencias importantes y estadísticamente significativas entre los grupos experimentales y los de control.

9 Entre los alumnos experimentales se produce un cambio metodológico que sustituye a la metodología de la superficialidad por una nueva metodología más acorde con la científica.

Los resultados que nos permiten realizar la afirmación anterior son entre otros, que en los alumnos experimentales, el tiempo medio para cumplimentar los distintos cuestionarios sobre errores conceptuales, fue en todos los casos, significativamente mayor que en los alumnos de control, así por ejemplo, el t_m empleado por 173 alumnos de control de 2º de BUP, en la cumplimentación del cuestionario VIII fue de 12.9 minutos, mientras que para 64 alumnos experimentales, también de 2º de BUP, fue de 17.2 minutos (ver Tabla 24 en pág 254). En cuanto a la capacidad de los alumnos para realizar actividades como la invención y precisión de hipótesis, el análisis e interpretación de resultados, etc, hemos de señalar que los resultados de los grupos experimentales también son significativamente superiores a los de los grupos de control (ver Tabla 25, pág 255).

10 El comportamiento metodológico de los profesores de los grupos experimentales es percibido por sus propios alumnos como diferente respecto al resto del profesorado en general.

En efecto, mientras que el 60% de los alumnos de control, encuentran que los profesores dejan poco tiempo para acabar los exámenes, más del 75 % de los experimentales afirman que su profesor de Física y Química, les deja el tiempo justo (21.9%) o más del necesario (56.3%). Por otra parte el 60% de los alumnos de control, indican que los profesores no dedican ninguna sesión preparatoria antes de los exámenes o lo hacen solo a veces; mientras que en los alumnos experimentales el 84% de los mismos afirma que su profesor siempre realiza esta tarea antes de los exámenes, etc (ver Tabla 26, pág 256).

- 11 El modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico, es valorado muy positivamente por el profesorado susceptible de ponerlo en práctica.

Hemos de resaltar que la conclusión anterior se basa en los resultados obtenidos mediante el Cuestionario XI, el cual se aplicó, a profesores en activo (y a alumnos del CAP), que experimentaron personalmente la metodología propuesta, lo cual incrementa su validez. (ver pág 262 y siguientes).

En definitiva pues, creemos haber avanzado en las dos cuestiones planteadas inicialmente, aportando datos novedosos, respecto a la respuesta de los interrogantes planteados en las mismas, acerca de los errores conceptuales cometidos por los alumnos.

ANEXO I

SELECCIONES BIBLIOGRAFICAS

El problema del negativo papel que a veces juegan los llamados «conocimientos espontaneos» de los alumnos, en orden a un correcto aprendizaje de las ciencias, es conocido ya desde hace mucho tiempo (Bachelard, 1938). En la actualidad, con el apoyo teórico de la psicología educativa y la epistemología genética -fundamentalmente los trabajos de Piaget y Ausubel- el problema ha adquirido una gran relevancia, llegando a convertirse en una de las primeras líneas de la investigación educativa, siendo muy numerosos los trabajos que han aparecido sobre el tema en las principales revistas de la didáctica de las ciencias. A continuación presentamos una selección de los mismos, a la cual hemos añadido algunos breves comentarios.

Podemos citar en primer lugar, toda una serie de trabajos en donde se exponen diversos ejemplos de errores conceptuales, aunque sin que figure en ellos ninguna propuesta fundamentada para su tratamiento. Así por ejemplo Kuethe (1963) describe algunos errores (muchos de ellos en el area de las ciencias naturales), haciendo algún comentario interesante respecto a sus causas. Gurevich (1973), expone algunos errores conceptuales sobre velocidad, aceleración, sistemas de referencia, fuerza, etc. Respecto al concepto de fuerza y las ideas que sobre él tienen los alumnos, hemos de señalar que han sido objeto de estudio en numerosos trabajos. Entre otros, podemos citar a Leboutet-Barrell (1976) y Osborne y Gilbert (1980 a). En este último se puede leer algo en lo que coinciden la mayoría de los autores, lo cual consiste en señalar que las numerosas ideas malinterpretadas de los alumnos no están aisladas, sino que se hallan incorporadas a toda una estructura conceptual que suministra un sensible y coherente conocimiento de la realidad, desde el punto de vista del alumno. También se hace en el mismo trabajo una clasificación de los distintos tipos de ideas preconcebidas basandose para ello en un cuestionario sobre el concepto de fuerza.

Sobre otros conceptos de interés, tenemos: Johnstone et al (1977) para entropía, equilibrio químico, etc. Ogborn (1976) se refiere al error

habitual de considerar el calor como una forma de energía; con este fin utiliza un imaginario dialogo entre los conocidos personajes Salviati, Simplicio y Sagredo, presentes en los "Dialogos" de Galileo. Delacotte et al (1978) analiza también junto con el concepto de calor, las ideas que tienen los niños sobre la naturaleza de la luz. Osborne y Gilbert (1980 b) tratan acerca del concepto de trabajo y de algunas ideas acerca de la corriente eléctrica. Sobre el concepto de energía, Vega y Agapito (1978), Sexl (1981) y Duit (1981) coinciden en su oposición a enseñar dicho concepto basandolo en el concepto de trabajo y como una de las razones que les impulsa a ello, se refieren a los errores conceptuales relacionados con la idea de trabajo. No obstante y como respuesta a los mismos cabe señalar el artículo de Warren (1982), que sustenta la posición contraria. Por último hemos de mencionar el artículo de Helm (1980) en donde se recogen los porcentajes de errores conceptuales en relación a distintos conceptos de física, que afectan a alumnos de diversos niveles y también a un grupo de profesores de esta asignatura. Helm se sirve de un test sobre 20 cuestiones de física. En el trabajo se indica también que en los mismos libros de texto, aparecen errores conceptuales por comisión u omisión.

En practicamente todos los trabajos consultados, hay unanimidad respecto a lo fuertemente arraigados que están los errores conceptuales y las consiguientes dificultades para combatirlos. Sin embargo a la hora de sugerir propuestas para su tratamiento, se pueden apreciar más diferencias:

Por una parte podríamos citar a los que se refieren a los errores conceptuales como obstaculos a eliminar, derribar, sacudir, etc, tal es el caso de Bachelard (antes citado) o de Sen'ko (1983) y Giordan (1978).

De otro lado, existen muchos otros que al referirse al tema lo hacen en otros términos. Así por ejemplo Watts y Zylberstajn (1981), señalan la necesidad de una actitud positiva por parte del profesorado hacia las ideas previas de los alumnos y a utilizar éstas como punto de partida de la enseñanza. Análogas opiniones encontramos en Gilbert et al (1982). En

Viennot (1979), la autora se pronuncia por la conveniencia de guiar a los alumnos a observar las discrepancias entre el esquema Newtoniano (concepto de fuerza) y sus propias ideas espontaneas, si se quiere que la enseñanza de las ideas newtonianas sea plenamente efectiva, ya que de no ser así, el conocimiento académico y el intuitivo coexisten en la mente del alumno. En parecidos términos se expresa Clement (1982). Una de las propuestas para combatir los errores conceptuales, es hacer uso de lo que en lenguaje piagetiano se denomina "conflicto cognoscitivo". Este se presenta cuando un individuo tiene una cierta creencia al resolver un problema, y al terminarlo se da cuenta de que la utilización de esa creencia le ha conducido a una respuesta contradictoria o inefectiva. Podemos citar en este sentido a Gil (1982), Leboutet (1973), Kavannah y Moomaw (1981), Derske (1981), Nussbaum y Novack (1976). Otro trabajo en donde también se incluye alguna propuesta para el tratamiento de los errores conceptuales, es el de Arons (1980), una de cuyas sugerencias consiste precisamente, en indicar que el propio profesorado es el primero que debe ser ayudado, ya que ha encontrado que muchos profesores adolecen de los mismos errores conceptuales que sus alumnos, a los cuales por lo tanto, difícilmente podran ayudar.

A continuación, se citan aquellos trabajos en los que además de hacerse propuestas para el tratamiento de los errores conceptuales, se intenta hacer una fundamentación o justificación de las mismas. En algunos de ellos, por ejemplo, se destacan las específicas relaciones existentes entre el desarrollo histórico algunos conocimientos científicos y el desarrollo psicológico de ciertos conceptos en el individuo, poniendo de manifiesto su importancia como fuentes posibles de información para el estudio del proceso de aprendizaje de las ciencias. En estos artículos se habla del «cambio conceptual» que supone la superación de los errores conceptuales por parte del alumnado; cambio que recuerda los cambios de paradigma científicos o «revoluciones científicas» en la terminología de Kuhn. (Hewson, 1981), (Posner et al, 1982).

Para terminar, damos una serie de trabajos que aunque no tratan sobre ejemplos concretos de errores conceptuales, si que suministran diversos

aspectos de interés relacionados con los mismos: Doran (1972), describe una técnica, con cierto rigor estadístico, para evaluar los errores conceptuales. Remmer y Grant (1978) exponen un breve resumen de las ideas de Piaget sobre el pensamiento concreto y el formal comparando su desarrollo entre alumnos que tienen la asignatura de física y otros que no la tienen. Exponen también los resultados de un análisis de 6 libros de texto, con vistas a averiguar el tipo de conceptos (concretos o formales), manejados en los mismos. Nusbaum (1981), muestra los resultados de una investigación hecha con el fin de averiguar la competencia de los profesores en formación, para detectar posibles errores conceptuales en las respuestas de sus alumnos, y por último, Kubli (1979), que expone con cierta extensión, varias de las ideas clave de Piaget, e intenta explorar y clarificar sus implicaciones y consecuencias en la enseñanza de las ciencias.

En la selección bibliográfica anterior, se recogieron una serie de trabajos publicados sobre el tema de los errores conceptuales, mediante el criterio de ordenarlos según las referencias que en ellos se hacía sobre sus causas, posible tratamiento, etc. Se siguió así la pista, en cierto modo, a una línea de investigación que ha ido evolucionando desde la simple exposición de los errores conceptuales hacia el estudio de los preconceptos y de estos hacia el estudio de los esquemas conceptuales «alternativos» de los alumnos, difícilmente desplazables por los conocimientos científicos que se quieren impartir, surgiendo así las llamadas estrategias de «cambio conceptual» como propuesta didáctica para el tratamiento del problema.

Nuestra intención es ahora, además de completar la primera selección, mostrar cuales son los dominios de la Física y de la Química, en donde más se ha investigado respecto al tema en cuestión, ya que ello puede ser un buen índice de dónde se presentan los errores conceptuales con más frecuencia, dónde hay más dificultades, etc. Por ello, el criterio de ordenación que vamos a seguir en este caso, será el de agrupar los distintos trabajos en diferentes bloques temáticos.

1. Fuerza y movimiento

Es en este campo de la Física donde la abundancia de estudios sobre errores conceptuales puede calificarse de abrumadora. Además de los ya citados en la selección anterior, hay que resaltar aquí dos amplios e importantes trabajos:

Uno de ellos es el de Mc Dermott (1984), en donde se afirma que "la mayor parte de las investigaciones han sido realizadas sobre las ideas de los estudiantes en el dominio de la mecánica, más incluso que en todas las otras áreas de la Física combinadas". Los ejemplos y cuestiones que presenta para la detección de errores conceptuales, se refieren en general a distintos grupos de trabajo de diferentes países. En cada caso se

describen brevemente los siguientes puntos: problema que se plantea, propósito, población estudiada, método de trabajo utilizado para realizar la investigación, cuestiones propuestas, y exposición y análisis de los resultados obtenidos. Los ejemplos seleccionados tratan fundamentalmente de los siguientes aspectos: cinemática, dinámica, estática, impulso y energía cinética. En total se describen unos 28 items propuestos a alumnos de diferentes niveles; en alguno de ellos se expone la utilización del ordenador como instrumento didáctico para la corrección de los errores conceptuales de los alumnos. El otro trabajo ha sido realizado por Driver (1984). Se trata de un trabajo con varias partes bien diferenciadas, la primera de las cuales constituye propiamente una reseña bibliográfica. En el resto del trabajo se refiere a diversas interpretaciones del proceso de aprendizaje, analizando finalmente las implicaciones pedagógicas de la denominada «Teoría constructivista del aprendizaje». Los ejemplos que se reseñan se refieren principalmente a la comisión de errores conceptuales en el uso de sistemas de referencia, el concepto de fuerza, el de movimiento y la gravedad. Las referencias bibliográficas que se citan al final de ambos trabajos, son muy importantes y numerosas (en conjunto superan las cien).

Otros trabajos en este campo son los realizados por Sebastiá (1984), Dibar (1984), Nielsen y Thompson (1984), Osborne (1984), etc. En este último, Osborne distingue entre tres tipos diferentes de dinámica, en donde pueden encuadrarse las ideas que poseen los alumnos en dicha materia: 1º) La denominada "Gut dynamics", elaborada mediante la interacción cotidiana del individuo con el medio y basada en la experiencia directa desde que nacemos. 2º) "Lay dynamics", donde se recogen las ideas que sobre dinámica se originan mediante el uso del lenguaje y los medios de comunicación (TV, radio, prensa, etc). En este apartado se encuadrarían por ejemplo las posibles ideas fantásticas, de ciencia ficción, etc. 3º) "Physicists dynamics", que responde a las ideas científicas establecidas. El autor considera en su artículo, posibles estrategias para conseguir integrar adecuadamente las dos primeras con la tercera. Además están los trabajos de Barbeta et al (1984), sobre movimiento, fuerza y energía. Reinders Duit (1984) sobre trabajo, fuerza y

potencia. En este último se hace hincapié sobre los distintos significados que en el lenguaje común se dan sobre estos conceptos. En algunos de los trabajos realizados sobre los preconceptos de los alumnos respecto a fuerza y movimiento (y también en lo que se refiere al calor), se destaca la similitud entre ciertas ideas presentes en los alumnos y algunas concepciones científicas que se dieron a lo largo de la historia de la ciencia. En este sentido tiene gran interés el documentado y crítico estudio realizado por Viennot y Saltiel (1985).

2. Calor y temperatura

En este apartado podemos citar los trabajos de Erickson (1980), y de Wylom (1981), sobre las concepciones de calor en niños de 10 a 13 años; así como a Macedo y Soussam (1985) con niños de 10 a 15. Hewson y Hamlyn (1983), (1984), estudian las influencias del medio social, ambiental, etc, en las ideas acerca de la naturaleza del calor. Hemos de citar también a Driver y Engels (1985), en donde se describen algunas de las principales ideas de los niños, relacionadas con el calor y que son el resultado de la interacción con los fenómenos cotidianos antes de recibir una enseñanza de las ciencias más formal en la escuela. En el artículo se describen también algunos resultados obtenidos en la escuela secundaria, comprobándose cómo en muchos casos se siguen arrastrando concepciones erróneas existentes antes de la instrucción. Principalmente tratan de las confusiones originadas por las diferentes sensaciones de frío o calor, debido a la distinta conductividad de los cuerpos (metal, madera, etc). Un trabajo mucho más completo sobre el mismo tema, con numerosos ejemplos y comentarios es el de Driver et al (1984).

3. Energía

Además de los citados en la selección bibliográfica anterior, es necesario señalar aquí los trabajos que sobre el concepto de energía han sido publicados en el volumen IV de "New Trends in Physics teaching" donde por diversos autores se analiza cómo es enseñado este importante concepto en las escuelas secundarias, en distintos países como el Japón, India, Unión

Soviética, etc. También en Driver y Brook (1984), se analiza ampliamente este concepto entre estudiantes de escuela secundaria. Concretamente investigan el uso espontáneo por parte de los estudiantes, de la idea de energía para explicar distintos fenómenos, así como su significado. También se centran en el principio de conservación de la energía, y sobre la idea de que en las transformaciones la cantidad de energía va disminuyendo. Para ello utilizan seis cuestiones cuya resolución implica la utilización de ideas relacionadas con el concepto de energía así como entrevistas personales. Centrado también sobre este principio de conservación tenemos el artículo de Driver y Warrington (1984) en donde se investiga hasta que punto son utilizadas las ideas sobre la conservación de la energía en la resolución de problemas por parte de los alumnos de la escuela secundaria. En la realización del trabajo, hacen uso de cuatro montajes experimentales sencillos que los alumnos pueden manipular (polea, turbina de agua, plano inclinado, etc), mostrando que la idea de la conservación de la energía aparece raramente cuando los estudiantes resuelven un problema o analizan una situación práctica. Las autoras se definen claramente a favor de la importancia de enseñar en la escuela secundaria, a pensar en términos de relaciones de energía.

4. Electricidad

Aquí la bibliografía es ciertamente escasa. Johsua (1984) expone un trabajo sobre la interpretación de los estudiantes acerca de los diagramas eléctricos. En él se describen unos circuitos cerrados (4 ejemplos) en donde se presenta la misma situación física de formas diferentes y se les pregunta a los estudiantes acerca de cómo se distribuye la corriente. Los resultados muestran que los diagramas son interpretados por parte de los alumnos en general, como un sistema de tuberías por el que circula la corriente como si fuese un líquido, utilizándose raramente el concepto de potencial y de diferencia de potencial, de forma adecuada para hacer predicciones. Hay también una clara influencia de la «forma» con que se dibuja el diagrama, de manera que situaciones idénticas desde el punto de vista físico, se interpretan por los alumnos de forma diferente según se representen.

5. Óptica

En este campo tenemos por ejemplo, el artículo de La Rosa et al (1984) en donde se analizan las concepciones que sobre la luz, tienen los estudiantes italianos de escuela secundaria. Otro trabajo sobre el mismo tema es el de Guesne (1984).

6. Química

Respecto a los trabajos de o relacionados con Química, hemos de señalar que la bibliografía sobre los errores conceptuales en Química, hemos de señalar que la bibliografía sobre errores conceptuales en esta materia, es menos abundante que en Física, por lo que hemos optado por agrupar los que se han consultado y seleccionado, bajo un mismo apartado. Por supuesto, la división es en muchos casos arbitraria, ya que conceptos como el de masa, energía, presión, etc, son de aplicación tanto en Física como en Química.

Quizás uno de los conceptos más investigados en Química, sea el concepto de mol. Dierks (1981) en su trabajo "Teaching the mole", analiza las definiciones que sobre este concepto se han venido dando históricamente, así como su significado y las dificultades que entraña su aprendizaje por los alumnos. Adjunta una amplísima bibliografía en donde se recogen estudios realizados desde 1953. Otro trabajo sobre el mismo tema, es el de los italianos Cervellati et al (1982). En este se estudian las definiciones de mol y del número de Avogadro y la forma con que se introducen en los libros de texto, así como su utilización por los alumnos de primer año de universidad.

Cervellati y Perugini (1981), también tienen otro trabajo sobre el concepto de orbital atómico entre los estudiantes italianos de escuela secundaria. Para ello utilizan la pregunta de ¿Qué es un orbital atómico?. Las respuestas de los alumnos las agrupan los autores en cinco grandes apartados: 1º) El orbital como función matemática. 2º) Como porción de espacio. 3º) Como una trayectoria. 4º) Como nivel de energía. 5º)

Inclasificable. Del análisis de dichos resultados, resulta que un 33% de los alumnos conciben el orbital atómico como una región del espacio y sólo un 3% como una función matemática. Los autores al final del artículo, lo mismo que en el anterior, realizan sendas propuestas para el estudio de la Química en la escuela secundaria, a las cuales podría clasificarseles de notablemente empiristas, aunque con un indudable eco en algunos sectores de enseñantes.

Otros trabajos de Química en donde se investigan errores conceptuales son los que se refieren a las ideas existentes entre los alumnos sobre la naturaleza de los gases, sus propiedades, comportamientos, etc. A este respecto podemos citar a Driver (1983) en donde se analiza la concepción mecanicista de la materia (partículas en movimiento) frente a la concepción macroscópica (continuista), describiendo algunas confusiones entre fuerza y presión, etc. Análogamente tenemos a Genevieve (1982), Nussbaum (1981), Furió y Hernandez (1983). Sobre concepciones erróneas en los cambios de estado del agua, han escrito Osborne y Cosgrove (1983) en el cual se analizan las ideas de los niños sobre fenómenos cotidianos relacionados con el agua, tales como la evaporación, la ebullición, etc, mostrando como en muchos casos sus puntos de vista son notablemente diferentes de los científicos.

También sobre cambios de estado, es el artículo de Brook (1983), que vamos a comentar brevemente. En este trabajo se plantea el grado de comprensión por parte de estudiantes de enseñanza media, de los modelos cinéticos de sólido, líquido y gas. Nos interesa destacar aquí principalmente que el 30% de los estudiantes encuestados (utilizando seis cuestiones relacionadas con el tema), daban respuestas basadas en la idea de materia formada por partículas pero conteniendo explicaciones alternativas erróneas como por ejemplo:

- Las partículas mismas cambian de tamaño (contracción, dilatación).
- Las partículas mismas sufren cambios de estado (se funden, etc)

- Entre las partículas de materia hay aire (el espacio no está vacío, el aire es continuo).

En el trabajo se mencionan al final algunas consideraciones de tipo didáctico sobre el proceso de aprendizaje, diseño de actividades apropiadas para proponer a los alumnos y sobre la palmificación del curriculum. Respecto a este último punto se afirma: "Necesitamos destinar más tiempo para que el estudiante investigue, para que discuta sus propias ideas y para que maneje los conceptos científicos. Esto puede conllevar una reducción en los contenidos o extensión de los programas". Las mismas cuestiones utilizadas en este trabajo, se hallan descritas en otro más amplio (Driver, 1985) en donde se plantean los tipos de razonamiento existentes entre niños de 11 a 16 años, sobre tres clases de cambios: Cambios de estado. Disoluciones y Combustiones. Contiene toda una serie de cuestiones que han sido propuestas a alumnos escoceses, ingleses y de otros países y se refiere a las ideas "alternativas" que llevan a los estudiantes a cometer errores en estos temas. Específicamente sobre la combustión, es el artículo de Mehent et al (1985) en donde se investiga hasta que punto el estudio de la combustión hace posible introducir conceptos relativos a las reacciones químicas.

Por último Furió y Ortiz (1983), abordan la persistencia de errores conceptuales en el tema del equilibrio químico y recogen bibliografía precedente.

7. Interpretaciones teóricas y propuestas didácticas

Para terminar hemos de señalar algunos estudios en los que sin centrarse en ejemplos concretos, se realiza en ellos un planteamiento teórico sobre los preconceptos y esquemas conceptuales de los alumnos, sugiriéndose en ellos ciertas propuestas didácticas para la enseñanza de las ciencias, principalmente en las materias de Física y Química. Tal es el caso por ejemplo de Natchigall (1984), Osborne et al (1983), Kenneth et al (1982), Posner et al (1982), Osborne y Withrock (1983).

Podemos citar también a Gilbert y Watts (1983). Se trata este de un importante trabajo que comienza analizando algunas de las tendencias más importantes que han venido orientando la investigación educativa en el área de las ciencias (inductivismo empírico, behaviorismo, teorías cognitivas de Bruner, Piaget, Ausubel, etc). A continuación analiza el significado que según la filosofía educativa subyacente en cada trabajo, se ha dado al término «concepto». De esta forma realiza una clasificación de los distintos trabajos que sobre los conceptos de Física, Química y Biología se han venido realizando, según el significado que implícita o explícitamente se le haya dado en cada trabajo, al término mencionado. Concretamente, respecto de Física y Química se da una lista de diversos trabajos sobre fuerza, gravedad, energía, electricidad, calor, luz, partículas y mol. En el artículo se hace también referencia a objetivos a conseguir en la enseñanza de las ciencias y finalmente se analizan varios modelos de aprendizaje como alternativas al cambio conceptual.

Otros artículos de interés son los de Driver y Basley (1978), Driver y Erickson (1983), Driver y Beverley (1985). En el primero de ellos se da una breve reseña sobre errores conceptuales, destacando el importante papel jugado por los trabajos de Piaget y sus implicaciones en ese campo. También describe otros estudios posteriores que han venido a completar a los mismos. En el segundo se da una clasificación de los investigadores que están trabajando sobre las "ideas intuitivas" de los alumnos según el área que se ocupen, examinándose a la vez algunas consecuencias teóricas y metodológicas implicadas en tales estudios, respecto a su aplicación en el aula. En el tercero se hace una exposición sobre un modelo constructivista del aprendizaje, cuyas características podrían resumirse diciendo que el progreso en el aprendizaje, depende de lo que el estudiante ya conoce, de sus ideas previas que pueden hallarse estructuradas formando esquemas conceptuales sólidos y coherentes, y que se trata de un proceso continuo y activo que implica la construcción de interpretaciones y significados que pueden ser aceptados o rechazados por el alumno. En el artículo se analizan otras características mediante ejemplos concretos sencillos, haciendo finalmente distintas

consideraciones sobre las implicaciones didácticas de esta forma de concebir el aprendizaje del alumno.

Por nuestra parte (Gil y Carrascosa, 1985), (Carrascosa y Gil, 1985), hemos intentado mostrar que una de las principales implicaciones didácticas de las investigaciones realizadas en este campo es la necesidad de orientar el aprendizaje como cambio conceptual y metodológico.

Finalmente a modo de conclusión, podemos afirmar a la vista de la bibliografía existente, que en efecto, el dominio en donde se dan con más frecuencia los errores conceptuales y quizás también donde mayor importancia tienen, es la mecánica. Hemos de referirnos así mismo a algunos trabajos (ver por ejemplo Iowi, 1984), en donde se manejan muchas cuestiones de diferentes dominios como supuestamente válidas para revelar errores conceptuales, sin que en nuestra opinión la incorrecta contestación de las mismas, sea atribuible a la existencia de verdaderos preconceptos en la mente de los alumnos. Es necesario pues, matizar entre verdaderos errores conceptuales y simples carencias de información. En los primeros el alumno responde con bastante convencimiento mediante determinados tipos de razonamiento donde utiliza unas ideas y relaciones determinadas, que le llevan a cometer ciertas equivocaciones "típicas" y no otras; mientras que en el segundo caso, las contestaciones serían más bien en blanco o aleatorias.

A N E X O II

CUESTIONES PARA LA DETECCION DE PRECONCEPTOS
Y TRATAMIENTO DE ERRORES CONCEPTUALES

Presentación.

Como ya se ha indicado en la tesis, una forma de investigar la existencia de posibles preconceptos científicos en los alumnos, es plantearles preguntas abiertas, del tipo por ejemplo: ¿Qué es para tí la luz? o bien: Dí todo lo que sepas acerca del calor, la energía, etc. Otra forma, es diseñar cuestiones elementales relacionadas con los conceptos que se quiere investigar, en donde los alumnos han de elegir por ejemplo la propuesta que consideren correcta, de entre las que se le ofrecen, o bien especificarla ellos, etc.

A lo largo de los años en que hemos estado trabajando sobre el problema de los preconceptos, hemos tenido acceso a toda una serie de estas cuestiones para investigar y profundizar en el estudio de los mismos, que han sido diseñadas por diversos autores. En otros casos, nosotros mismos las hemos elaborado (la mayoría de las veces porque nuestro interés en el tema nos hacía estar atentos a las ideas previas de nuestros propios alumnos). Lo cierto es que de un modo u otro, hemos recogido una colección de cuestiones (evidentemente ampliable), diseñadas específicamente para investigar no sólo la existencia sino también las características de determinados preconceptos de Física y Química. Hemos creído pues de interés, el exponerlas para que puedan ser utilizadas y mejoradas por otros compañeros. Para ello hemos optado por clasificarlas según a qué rama de la Física o de la Química pertenezca el concepto principal con el que estén relacionadas: cinemática, dinámica, trabajo y energía, etc, siguiendo el orden habitual con que se presentan estos temas en los currícula. Es preciso advertir que en muchos temas, el número de cuestiones será escaso (por ejemplo en óptica, o en electricidad), mientras que en otros será muy abundante (por ejemplo en dinámica). Ello no hace sino reflejar el hecho (ya comentado en la tesis), de que los preconceptos no se dan por igual de una manera uniforme ni con la misma intensidad en las diversas ramas de la Física y Química. Otro punto de interés, es que en muchos casos hemos propuesto diversas cuestiones que inciden sobre el mismo preconcepto. Es importante aclarar que esto se debe al hecho, ya comprobado, de que en ocasiones basta alterar

mínimamente el enunciado de una cuestión para que, se vuelva a cometer el mismo error conceptual que se creía ya superado, mostrando así la persistencia de los preconceptos y de la metodología del sentido común. Nos ha parecido pues interesante el enunciar distintas cuestiones que abordan el mismo preconcepto desde distintos ángulos, unas de una forma directa, otras de forma más indirecta, etc. Con toda seguridad a los profesores que las lean se les ocurrirán interesantes variaciones que ellos mismos podrán experimentar.

Hemos creído conveniente el indicar para cada cuestión los siguientes detalles: Origen: es decir, la fuente de donde proviene o dónde la hemos visto publicada. Campo o Dominio: rama de la Física o Química con que está relacionada y preconcepto que se investiga. Objetivos y comentarios: Se trata de explicar que es lo que se persigue al proponer la cuestión en la forma en que se ha hecho, comentar el sentido de las respuestas que suelen dar los alumnos, etc. Resultados: En caso de que la cuestión haya sido experimentada por nosotros u otros autores y se tengan resultados cuantitativos, se indican. Lógicamente en las cuestiones correspondientes a los cuestionarios manejados para la tesis, los resultados coinciden con los que se exponen en esta y buscando en el capítulo correspondiente, se pueden encontrar los detalles acerca de cuando se pasó la cuestión, cómo, dentro de qué cuestionario, en qué condiciones, etc.

Naturalmente esta es una recopilación abierta y una de nuestras perspectivas de trabajo es proseguir la búsqueda y elaboración de nuevas cuestiones tanto para su uso como instrumento de detección de preconceptos, como por su valor como actividades de conflicto cognoscitivo.

Indice

Errores conceptuales en Cinemática y Dinámica. (pág 292).

Errores conceptuales en Hidrostática. (pág 331).

Errores conceptuales en Trabajo y Energía. (pág 337).

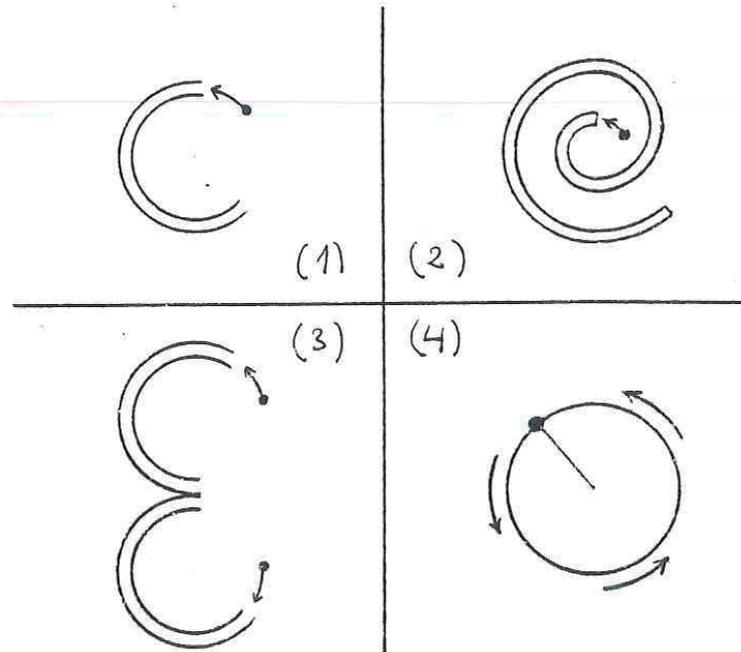
Errores conceptuales en Óptica. (pág 342).

Errores conceptuales en Electricidad. (pág 344).

Errores conceptuales en Química. (pág 347).

ERRORES CONCEPTUALES EN CINEMATICA Y DINAMICA

1) Los tres primeros esquemas que se exponen a continuación, representan tubos curvados, que se encuentran fijos sobre una superficie horizontal de rozamiento despreciable. El cuarto, es una bola atada a un hilo que gira también sobre la misma superficie describiendo un movimiento circular.



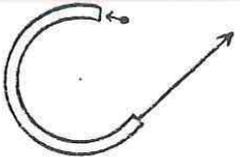
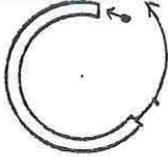
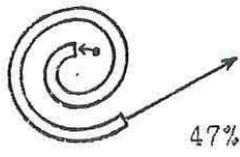
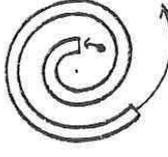
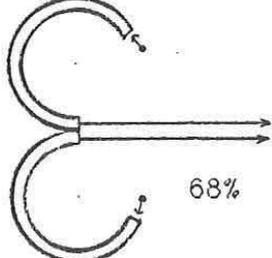
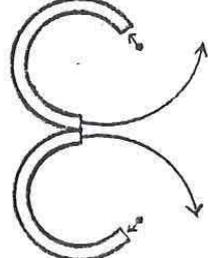
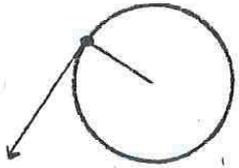
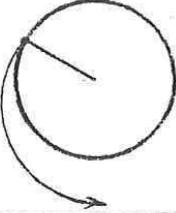
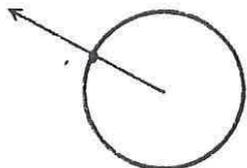
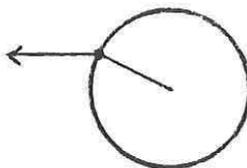
Trazar la trayectoria que seguiría la bolita, al salir del tubo (figuras 1,2 y 3) o al cortar el hilo (figura 4).

ORIGEN: Camarazza, A. Mc Closkey, M. y Green, B. 1981. Naive beliefs in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition* 9, 117. Citado por Mc Dermott, L. 1983. Critical Review of Research in the Domain of Mechanics. *International Summer Workshop: Research on Physics Education. La londe les Maures. Francia.*

CAMPO: Cinemática. Trayectorias de móviles.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Para algunos alumnos, la forma curvilínea del tubo por donde se lanza la bolita, afecta al movimiento posterior de esta.

RESULTADOS: La cuestión fue propuesta a un total de 50 alumnos de escuela secundaria, con los resultados que se exponen a continuación:

 <p>67%</p>	 <p>33%</p>
 <p>47%</p>	 <p>51%</p>
 <p>68%</p>	 <p>30%</p>
 <p>53%</p>	 <p>30%</p>
 <p>6%</p>	 <p>6%</p>

2) Si se lanza un cuerpo verticalmente hacia arriba desde el suelo, el valor de la aceleración de la gravedad "g" para el movimiento de subida, en las ecuaciones cinemáticas $e=f(t)$ y $v=f(t)$ deberá ponerse como:

a) positivo

b) negativo

c) no lo sé

d) otra respuesta (especificarla).....

.....

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Cinemática (Sistemas de referencia).

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Existe en muchos casos una tendencia muy arraigada entre los alumnos, a considerar siempre, de una manera mas o menos implícita, como sentido positivo aquel que coincida con el de la velocidad. En efecto, aunque en la cinemática de 2º de BUP se habla ya de la necesidad de especificar el sistema de referencia escogido cuando uno se plantea un problema, lo cierto es que incluso en la mayor parte de los libros de texto de este nivel, cuando se resuelven problemas de caída de graves, se suele hacer cambiando a conveniencia el sistema de referencia escogido y tomando siempre como sentido positivo el de la velocidad. Así por ejemplo en el caso de un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba donde piden el tiempo que tardará en volver al suelo, no es nada raro encontrarse con la descomposición del problema en dos partes, una primera donde se calcula el tiempo que tarda en subir, tomando la aceleración como negativa y origen de espacios el suelo, y una segunda en donde se calcula el tiempo que tarda en bajar, tomando la aceleración de la gravedad como positiva y como origen de espacios el punto donde alcanzó la altura máxima. Naturalmente, no es que el problema este mal resuelto así (aunque sería mas comodo y mejor definir desde el principio un único sistema de referencia espacio-temporal con un sentido positivo tomado

arbitrariamente, y resolver el problema coherentemente con ello), lo grave es que la mayoría de las veces, el sistema de referencia escogido ni siquiera se menciona, así como tampoco el sentido que se toma como positivo cuando se resuelve el problema mediante un tratamiento escalar a lo largo de la trayectoria. Esto provoca en el alumno la fijación funcional, perfectamente coherente por otra parte con esa tendencia "natural" a tomar siempre como origen de espacios el punto donde se "encontraba" el móvil inicialmente en reposo, y como sentido positivo escoger siempre el del movimiento, aunque esto obligue, como ocurre en el ejemplo comentado, a cambiar de sistema de referencia.

En definitiva pues, el objetivo de la cuestión es medir cuantos alumnos contestan que el valor de la aceleración debe ser negativo, lo cual revelaría la existencia de la fijación funcional comentada.

3) *Un objeto se desplaza a lo largo de una trayectoria determinada según la ecuación $e = 25 + 40t - 5t^2$ m (si t en s). La distancia recorrida a los 5 s será entonces de:*

- a) 100 m
- b) 75 m
- c) 85 m
- d) no lo sé

(explicar la respuesta escogida)

ORIGEN: Carrascosa y Gil. (*Naturaleza y Matemáticas*, nº 4, p 3, 1982)

CAMPO: Cinemática (Confusión entre la posición de un móvil sobre la trayectoria "e" o el cambio de posición Δe , con la distancia recorrida por el móvil).

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Puede decirse que lo que aparece aquí es un error donde se aprecia perfectamente la influencia de un aprendizaje demasiado superficial que no se detiene en la clarificación de los

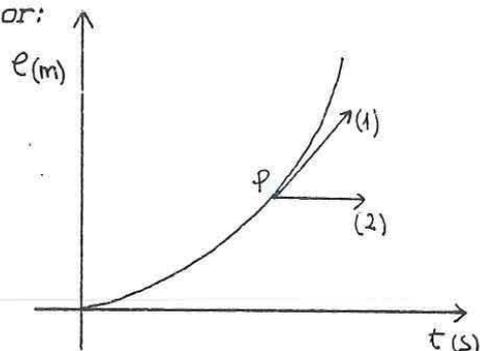
conceptos. En efecto, la ecuación $e=f(t)$, indica la posición del móvil sobre la trayectoria. Un resultado como el de $e = 100$ m a los 5 s, lo único que indica es que el móvil en ese instante se encuentra a 100 m del origen según el sentido tomado como positivo. Por otra parte está claro que dicho resultado no coincide con la distancia recorrida por el móvil a los 5 s. Basta darse cuenta para ello que en el instante $t=0$ s el móvil se encontraba en la posición dada por $e = 25$ m. No obstante la respuesta $\Delta e = 75$ m que es evidentemente el desplazamiento experimentado por el móvil sobre la trayectoria durante esos 5 segundos, tampoco coincide en este caso con la distancia total recorrida por el móvil, ya que para que ello ocurriese, tendría que suceder que el móvil se hubiese desplazado en el mismo sentido durante todo ese tiempo. Cosa que no ocurre en el caso propuesto.

Podría quizás argumentarse por algunos que se trata este de un ejemplo rebuscado, una cuestión "de pega". Sin embargo es fácil de rebatir este argumento, simplemente dándole la vuelta. En efecto, el problema es precisamente que, con frecuencia, se utilizan ejemplos favorecedores de la confusión y de la fijación de ideas erróneas. La mayor parte de los problemas de móviles toman como sistema de referencia el punto y el instante en que se inicia el movimiento, lo cual hace que el espacio e y el desplazamiento Δe coincidan. Si además el movimiento es uniforme o bien el móvil se desplaza en un solo sentido, (el escogido como positivo), resultará que los valores anteriores también coincidirán con la distancia recorrida. Así ocurriría por ejemplo si hubiésemos utilizado la ecuación $e = 40t+5t$ donde la simple sustitución de t por 5 hubiese proporcionado un resultado correcto, aunque a pesar de ello, en nuestra opinión, el problema estaría igualmente mal resuelto.

RESULTADOS: Se trata de un problema que hemos propuesto en distintos cursillos con profesores de Física y Química de enseñanza media y también a alumnos del CAP. Los resultados obtenidos son en todos los casos un porcentaje de error mayor del 90%.

- X 4) En la gráfica $e=f(t)$ que se adjunta, la dirección del vector velocidad en P, puede venir representada por:

- a) El vector (1)
- b) El vector (2)
- c) Otra respuesta
(especificarla)



ORIGEN: Carrascosa y Gil

CAMPO: Cinemática. Confusión entre la gráfica de la posición del móvil sobre la trayectoria, e , en función del tiempo, t , y la trayectoria seguida por el móvil.

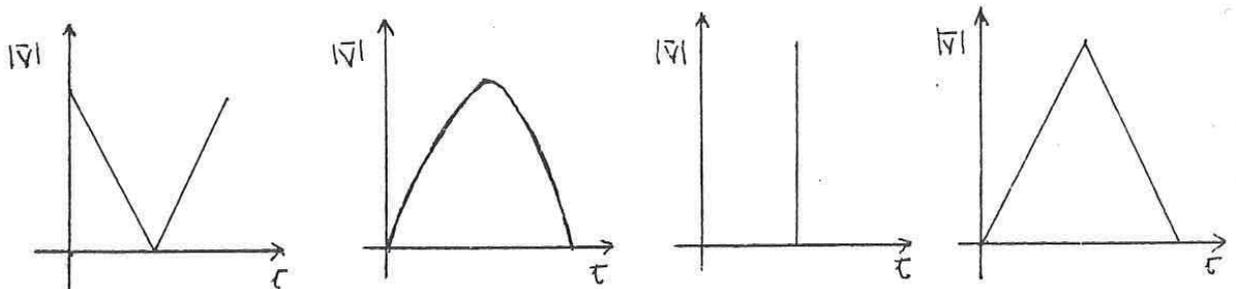
OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Parece ser que el hecho de tener a la vista una línea con un comienzo y final determinados, y más aún cuando esta línea se construye representando los valores de la posición del móvil en distintos instantes, induce a los alumnos a tratar a esta como si fuese el camino que sigue el móvil. Esto puede estar relacionado con el hecho de que en la vida cotidiana, los cuerpos se mueven siguiendo caminos determinados con un principio y hacia una meta o final. Los alumnos influidos por estas experiencias reiteradas suelen cometer el error de contestar como correcta la posibilidad a de una forma bastante precipitada y con bastante seguridad, pasando por alto el hecho de que la gráfica dada no representa la trayectoria descrita por el móvil. El mismo tipo de error se comete en otras ocasiones, así por ejemplo, es bastante común que al representar cualitativamente en la pizarra la gráfica $e-t$ para un cuerpo que siguiendo la misma trayectoria se mueve inicialmente con movimiento uniforme, a continuación esta unos momentos en reposo y luego regresa a su posición de partida, algunos alumnos manifiesten su sorpresa acerca de que el profesor afirme que "vuelve al punto de partida" ya que según ellos se "encuentra en otro punto distinto del que salió".

RESULTADOS: Esta cuestión la hemos empleado en multitud de ocasiones con alumnos de distintos niveles e incluso con profesores de Física y Química

de enseñanza media. A continuación exponemos algunos de los resultados obtenidos. (Hay que señalar que la cuestión fué planteada junto con otras dentro de un cuestionario para el que no había tiempo límite de contestación).

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>% Respuestas Erroneas</u>
Alumnos de COU	114	99.1
Profesores de Enseñanza Media	195	89.7

5) ¿Cuál de las siguientes gráficas refleja correctamente la relación entre el módulo de la velocidad, V , de una pelota que ha sido lanzada verticalmente hacia arriba y el tiempo t , que ha estado moviéndose?



ORIGEN: Seminario de Física y Química, ICE de la Universidad de Valencia (1986).

REFERENCIA: Cinemática. Interpretación de gráficas. Confusión entre la gráfica $V-t$ y la trayectoria seguida por el móvil.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La cuestión es similar a la anterior y por lo tanto se pueden hacer las mismas consideraciones. Resulta de interés el reproducir a título de ejemplo los comentarios de un alumno de 2º de BUP:

"En el a) se tira la pelota y rebota con lo que vuelve a subir, En el b) se tira la pelota y al llegar a una cierta altura va descendiendo, En el c) la pelota se tira verticalmente, con lo cual cae de la misma forma, En el d) no puede existir nunca ese movimiento a menos que rebote contra algo," Esta cuestión fue pasada a finales del curso 85-86 a un total de 234 alumnos de 2º de BUP,

RESULTADOS: El 28.2% de los alumnos encuestados identificaron la gráfica correcta.

6) *Un objeto se deja caer desde un globo que está elevándose en el aire a una cierta altura sobre el suelo. ¿De qué factores dependerá el tiempo que dicho objeto tarde en llegar a tierra?. (Considerar despreciable el rozamiento con el aire).*

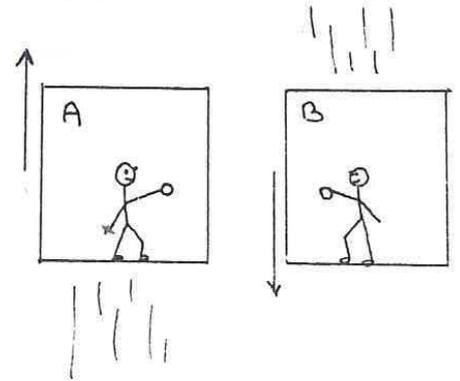
REFERENCIA: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Cinemática - Dinámica. Influencia de la masa en la duración de la caída. Asociación fuerza/movimiento.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Los posibles errores conceptuales que pueden aparecer en esta cuestión se deben naturalmente, a pensar por una parte que la masa influiría en la duración de la caída, y de otro lado cabe la posibilidad también de que no se incluya la velocidad del globo respecto de tierra en el momento de soltar el objeto, entre los factores que influirán en el tiempo que tardará en llegar al suelo. Dicha exclusión revelaría la creencia de que dado que al soltar el objeto, el globo o la mano ya no siguen empujándole, este caería inmediatamente, ya que la asociación que los alumnos establecen entre la fuerza y la velocidad, les lleva a pensar que si cesa la fuerza cesa el movimiento.

7) El ascensor A, asciende con una velocidad constante de 5m/s. El ascensor B, baja con una velocidad también constante de 5m/s. En el instante en que se cruzan, ambos pasajeros dejan caer de su mano, que se encuentra a la misma altura sobre el suelo de cada ascensor, un objeto idéntico. Señalar cual de las siguientes proposiciones respecto al tiempo que tarda cada objeto en chocar con el suelo del ascensor respectivo, te parece más correcta:

- a) tiempo en el A mayor que tiempo en el B
- b) tiempo en el A igual que tiempo en el B
- c) tiempo en el A menor que tiempo en el B



ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Cinemática - Dinámica. No equivalencia entre sistemas inerciales. Asociación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión similar, en parte, a la anterior. Los alumnos piensan que el objeto que se deja caer en el ascensor que sube, llegará antes al suelo que el otro que se deja caer en el ascensor que baja, precisamente porque según ellos la velocidad inicial del objeto sería cero en cualquier caso (ya que al dejarlo caer, "no se le hace ninguna fuerza").

8) Un vagón de tren se desplaza con movimiento rectilíneo y uniforme a gran velocidad. En el centro del mismo hay un pasajero que de repente salta verticalmente hacia arriba. Señala con una cruz donde piensas que caerá:

- a) Más adelante del centro del vagón (en el mismo sentido del movimiento)
- b) Más atrás del centro del vagón.
- c) Justo en el centro del vagón.

CAMPO: Cinemática - Dinámica. Composición de movimientos. Asociación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La idea de fuerza como causa del movimiento, llevaría a pensar que dado que sobre el pasajero no actúa ninguna fuerza horizontalmente mientras está en el aire (cosa que es obviamente cierta), este caería retrasado respecto a su posición original (conclusión errónea). Se trata de una cuestión en la que pocos alumnos de COU o niveles universitarios (especialidad ciencias) se equivocan. No obstante es preciso tener en cuenta que se trata de una cuestión muy conocida, y que en la mayoría de los casos no revela que los conocimientos pertinentes hayan sido correctamente asimilados. En efecto, basta el desfigurar un poco el enunciado de la cuestión para que la metodología de la superficialidad de la cual hemos venido hablando en la tesis, haga que el alumno al no "reconocer" la cuestión vuelva a caer en un error conceptual que podría parecer definitivamente superado. Esto es lo que se muestra en la siguiente cuestión:

9) Tres alumnos van corriendo como se indica en la figura adjunta. En un momento determinado, el que va primero lanza una bola hacia arriba. ¿De qué dependerá que la recoja uno u otro?



ORIGEN: Carrascosa y Gil.

REFERENCIA: Cinemática - Dinámica. Composición de movimientos. Asociación fuerza y velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión similar a la anterior, en donde el alumno no tiene en cuenta que la bola también tiene la velocidad del corredor y piensa que al cesar la fuerza hacia adelante

cesa automáticamente el movimiento hacia adelante. La cuestión no obstante, no es tan conocida y el número de errores cometidos es muy grande.

RESULTADOS: Esta cuestión ha sido ensayada con grupos de alumnos del CAP y con un grupo de profesores de Física y Química de enseñanza media en activo, en ambos casos el porcentaje de respuestas erróneas fue del orden del 90%.

10) Desde lo alto de una torre situada sobre un terreno muy extenso y plano, un cañón dispara horizontalmente una bala. Justo en el mismo instante otra bala exactamente igual es dejada caer, también desde lo alto de la torre. Considerando despreciable el rozamiento con el aire, resultaría entonces que (señalar la propuesta correcta):

- a) Las dos balas llegarían a la vez al suelo.
- b) La disparada por el cañón llegaría antes que la otra.
- c) La disparada por el cañón llegaría después que la otra.

CAMPO: Cinemática - Dinámica. Composición de movimientos.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Los alumnos piensan de entrada, que la bala disparada por el cañón permanece durante más tiempo en el aire que la que se deja caer desde el mismo punto y al mismo tiempo. La razón hay que buscarla en que para ellos el "impulso" (en el sentido de fuerza inicial con que se lanza) que lleva la bala "se opone" a que esta caiga, cosa que evidentemente no ocurre con la otra que empieza a caer en cuanto se suelta "sin ningún impedimento". Evidentemente, las variaciones sobre estas últimas cuestiones, son múltiples y fáciles de idear por cada profesor.

11) Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de seis metros. ¿Qué altura alcanzará otro objeto lanzado con la misma velocidad, si su masa es la mitad que la del primero?

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Cinemática. Caída de graves. Influencia de la masa.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La arraigada creencia de los alumnos acerca de que la masa influye de manera directamente proporcional en la duración de la caída libre de los cuerpos, les lleva a contestar que la altura alcanzada será de 12 m.

RESULTADOS: La cuestión ha sido propuesta a numerosos alumnos de distintos niveles. Por supuesto las respuestas que indicaban "distinta altura, dependiendo del rozamiento" o similares, se contabilizaron como correctas, es decir, tan solo se consideraron erróneas aquellas respuestas en donde se afirmaba escuetamente que la altura sería precisamente de 12 metros.

<u>Curso</u>	<u>N</u>	<u>% respuestas erróneas</u>
7º de EGB	134	84.7
1º de BUP	264	88.2
2º de BUP	196	78.2
3º de BUP (a)	213	73.7
3º de BUP (b)	208	75.1
COU (a)	181	67.9
COU (b)	241	61.5
1º Magisterio (a)	145	75.2
1º Magisterio (b)	65	68.3
2º de Químicas (a)	140	50.0
2º de Químicas (b)	92	44.4

12) Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuanto tardará otro de doble masa que se deja caer desde la misma altura?

ORIGEN: Carascosa y Gil, (1982).

REFERENCIA: Cinemática. Caída de graves. Influencia de la masa.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión simétrica de la anterior, en donde el problema se aborda de manera directa. El error conceptual llevaría a contestar medio segundo. Al igual que antes, como respuestas correctas se pueden admitir muchas: desde los que dicen el mismo tiempo hasta los que afirman que distinto tiempo a causa del rozamiento, o casi el mismo tiempo, etc.

RESULTADOS: Es interesante el comparar los resultados de esta cuestión con los de la anterior y la que viene a continuación. Como puede observarse, aquí son en general menores los porcentajes de errores cometidos. La razón es que en esta cuestión el problema se plantea de manera directa, y muchos alumnos contestan de forma mimética recordando definiciones oídas en clase repetidamente. Sin embargo basta que se plantee el mismo problema con un enunciado diferente para que el porcentaje de error aumente. Además al analizar las respuestas de los alumnos nos hemos encontrado con que muchos contestaban la cuestión acertadamente diciendo que tardaría el mismo tiempo, pero a continuación añadían: porque en $e = e_0 + V_0 t + 1/2 a t^2$ no aparece para nada la masa. Lógicamente, en la cuestión siguiente en donde la fórmula del periodo no es tan conocida, los razonamientos "formulísticos" no son tan abundantes y el porcentaje de respuestas erróneas aumenta. Todo ello revela que las formas características de la metodología de la superficialidad: ausencia de una reflexión previa, existencia del formulismo y el operativismo, etc, no han sido superadas, y en consecuencia no se ha producido un aprendizaje verdaderamente significativo.

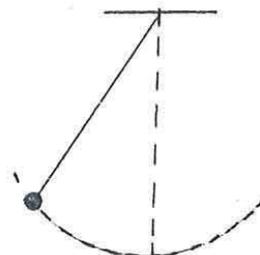
<u>Curso</u>	<u>N</u>	<u>% respuestas erroneas</u>
2º de BUP (a)	196	73.7
2º de BUP (b)	172	71.8
2º de BUP (c)	79	68.2
3º de BUP	213	70.4
COU (a)	181	67.9
COU (b)	64	60.0
1º Magisterio	145	66.1
2º de Químicas	140	39.3

13) *En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar si el periodo del péndulo (tiempo que tarda en dar una oscilación completa) depende o no de cada uno de los siguientes factores:*

a) *La longitud del hilo:*

b) *La masa del péndulo:*

c) *El valor de la gravedad:*



ORIGEN: Carrascosa y Gil.

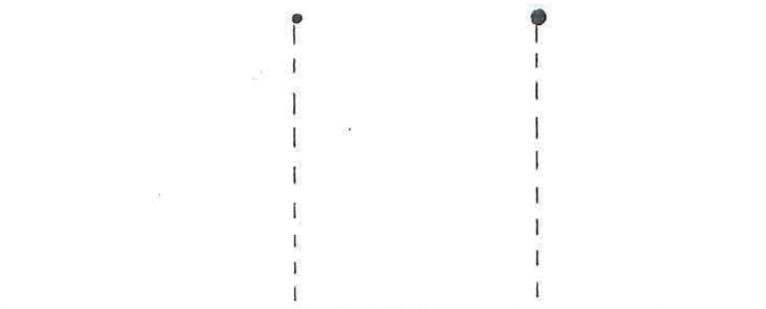
REFERENCIA: Cinematica. Caida de Graves. Influencia de la masa.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión indirecta sobre la influencia de la masa en la duración de la caída. Los apartados a) y c) figuran en la cuestión como meros distractores (que no hemos tenido en cuenta), ya que en ocasiones esta cuestión se utilizó junto con las dos anteriores y no se quería que se viese una relación demasiado directa entre las mismas.

RESULTADOS:

Curso	N	% respuestas erroneas
2º de BUP	196	83.7
3º de BUP	213	82.6
COU	181	65.7
1º Magisterio	145	67.6
2º de Químicas	140	66.4

14) Dos bolas de 1 Kg y de 2 Kg respectivamente, se dejan caer simultaneamente desde la misma altura (no hay rozamiento). Señalar mediante cruces la posición de cada una de ellas tomando intervalos iguales de tiempo.



ORIGEN: Seminario de Física y Química ICE (Valencia), (1986).

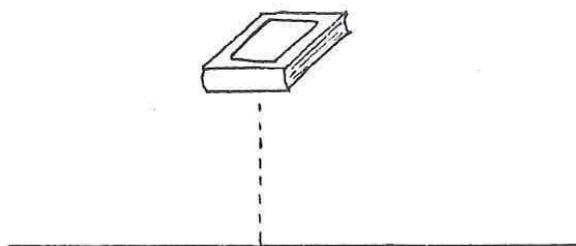
REFERENCIA: Cinemática. Caída de graves. Concepto de aceleración. Influencia de la masa.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS. Se trata de la cuestión directa sobre caída de graves pero planteada de otra manera. El error conceptual de asignar a la masa mayor una mayor velocidad de caída, llevaría a dibujar cruces para la masa de dos Kg que irían por delante de las de la otra masa. Además se puede poner aquí de manifiesto si los alumnos comprenden el concepto de aceleración dibujando las cruces cada vez más distanciadas.

Lógicamente la respuesta se ha considerado correcta cuando estos han dibujado parejas de cruces al mismo nivel y cada pareja más distanciada de la de arriba.

RESULTADOS: Esta cuestión ha sido pasada entre un total de 234 alumnos de 2º de BUP correspondientes a 9 grupos de alumnos de 7 institutos de enseñanza media de la Comunidad Valenciana, al final del curso 85-86. Con el resultado siguiente: El 39.7% de los alumnos especificó que la masa no influía, pero tan sólo el 4.7% de los mismos dibujó correctamente las posiciones. El porcentaje de alumnos que contestaron bien la cuestión completa fue únicamente del 2.6%

15) *Se coloca una pequeña hoja de papel sobre la tapa de un libro y se dejan caer desde una cierta altura sobre el suelo, tal y como se muestra en la figura, observándose que ambos llegan al mismo tiempo (es decir que la hoja de papel sigue estando sobre el libro cuando este choca con el suelo). Da una explicación de este fenómeno:*



ORIGEN: Carrascosa y Gil

REFERENCIA: Cinemática. Caída de graves. Influencia de la masa.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión exploratoria que se puede proponer antes de hablar del tema de caída de graves. Cuando la hemos utilizado de esta forma en 2º de BUP, algunos alumnos se refieren a que la hoja no se separa del libro porque el aire que va desplazando este la empuja, (lo cual recuerda bastante algunas ideas Aristotélicas).

16) *Las observaciones más comunes muestran que para que un cuerpo permanezca en movimiento, es necesario que una fuerza esté actuando sobre él, de forma que si cesa la fuerza el cuerpo se para. Estas observaciones deben de interpretarse correctamente diciendo que las fuerzas son la causa de*

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

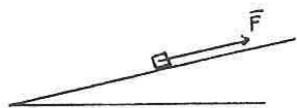
CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión para detectar si el concepto de fuerza como causa del cambio de movimiento ha sido o no correctamente aprendido. Nótese la expresión "deben de interpretarse correctamente" introducida para llamar la atención sobre la necesidad de una reflexión previa antes de contestar. El error conceptual consistente en relacionar la fuerza con la velocidad y la ausencia de dicha reflexión previa, llevarían a señalar que las fuerzas son la causa del movimiento.

RESULTADOS:

<u>Curso</u>	<u>N</u>	<u>% de respuestas erróneas.</u>
2º BUP	196	86.8
3º BUP	213	89.6
COU	181	79.5
1º Magisterio	145	81.4
2ª Químicas	140	73.5

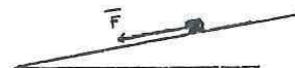
17) Un cuerpo es lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar cual de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende:



a)



b)



c)

ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

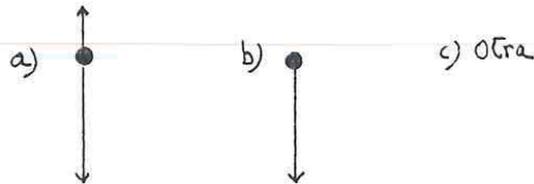
CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: El preconcepto de fuerza que poseen los alumnos, les lleva a relacionar esta con la velocidad. Así en los movimientos "forzados" estos se explican gracias a la "fuerza que se le comunicó al cuerpo inicialmente" la cual es la responsable de dicho movimiento, aunque "se va gastando" poco a poco. Esta idea lleva a que muchos alumnos señalen como correcto el esquema b). No obstante otros alumnos, principalmente los de niveles superiores, afirman que el esquema correcto es el a), argumentando que la "fuerza que impulsa el cuerpo hacia arriba, se compone con la fuerza peso, y de ahí que de esa resultante".

RESULTADOS:

Curso	N	% de respuestas erróneas.
2º BUP	196	69.7
3º BUP	213	61.5
COU	181	54.7
1º Magisterio	145	71.7
2º Químicas	140	68.6

18) Se lanza un cuerpo desde el suelo verticalmente hacia arriba. Considerando nulo el rozamiento, señala con una cruz cual de los siguientes esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo poco antes de que este alcance su máxima altura.



ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión en donde se hacen razonamientos similares a la anterior del plano inclinado. Una gran parte de los alumnos piensa que al lanzar el cuerpo se le comunica una fuerza. En este caso, esta fuerza extra, se emplearía en vencer a la fuerza peso, y se iría gastando conforme el cuerpo va subiendo. Para algunos alumnos esta fuerza se haría cero en el instante en que alcanza la máxima altura y entonces el cuerpo bajaría debido al peso. También hay otros que piensan que en ese momento lo que ocurre es que la fuerza "ascendente" ha llegado a igualarse con la fuerza peso y ello hace que inmediatamente comience a bajar. El primer razonamiento es algo más elaborado que el segundo, (de hecho abunda más entre los alumnos más mayores), pues en él se admite implícitamente la existencia de una fuerza resultante de sentido contrario a la velocidad.

RESULTADOS:

<u>Curso encuestado</u>	<u>N</u>	<u>porcentajes de error</u>
7º de E.G.B.	134	73.6
1º de B.U.P.	264	84.4
2º de B.U.P.	250	90.5
3º de B.U.P.	208	85.3
C.O.U.	241	86.2
1º de Magisterio	65	85.7
2º de Químicas	92	80.0

19) Señalar verdadero o falso a continuación de las siguientes proposiciones:

- a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, deberá de estar en reposo.
- b) El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- c) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante en ese mismo instante también lo será.

ORIGEN: Carrascosa y Gil, (1982).

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: El preconcepto de fuerza, llevaría a contestar verdadero en las tres propuestas. Hemos considerado como respuestas correctas únicamente aquellas en las que se calificaban las tres como falsas.

RESULTADOS:

<u>Curso</u>	<u>N</u>	<u>% de respuestas erroneas.</u>
2º BUP	196	98.0
2º BUP	172	98.3
2º BUP	79	97.4
3º BUP	213	97.7
COU	181	89.5
COU	64	89.1
COU	265	94.7
CAP	136	80.1
1º Magisterio	145	81.4
2º Químicas	140	73.5
Profesores E.M	195	67.3

20) *En la pantalla de un ordenador, hay un punto en reposo que representa un objeto sobre una superficie horizontal y sin rozamiento. Al apretar una tecla, se hace una fuerza constante sobre el punto. Dicha fuerza sólo actúa mientras se mantenga apretada la tecla.*

Indica que harías para conseguir que el punto se moviese continuamente con la misma velocidad:

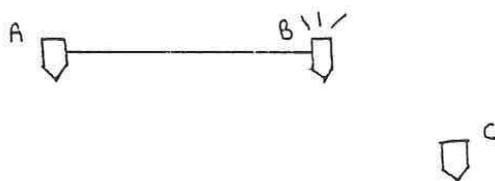
- a) Apretar una sola vez la tecla durante muy poco tiempo.*
- b) Mantener apretada la tecla durante todo el tiempo.*
- c) Apretar la tecla de modo intermitente (cada cierto tiempo).*

ORIGEN: Seminario de Física y Química. ICE de la Universidad de Valencia.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La idea de fuerza como causa del movimiento llevaría a los alumnos a no escoger la opción a) como la correcta.

21) Una nave espacial se mueve en el espacio intergaláctico (lejos de cualquier interacción), desde un punto A a otro punto B, con los motores apagados. En el punto B, el piloto conecta los motores durante unos pocos segundos y los desconecta en el punto C, tal y como se indica en la figura. Dibuja la posible trayectoria de la nave entre el punto B y el C, y también la que sigue después del punto C

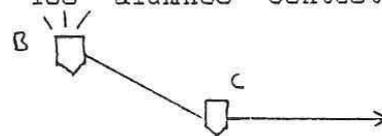


ORIGEN: Clement, J. 1982. *American Journal of Physics*, 50, 66-71. Citado por Mc Dermott, 1983. *Critical Review of Research in the Domain of Mechanics. International. International Summer Workshop: Research on Physics Education*. La Jolla, California, Francia.

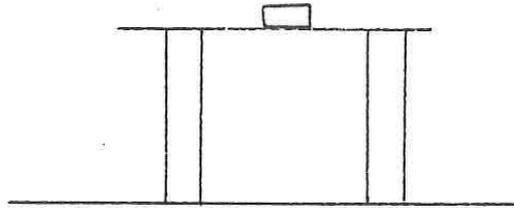
CAMPO: Dinámica. Relación fuerza/movimiento.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: En esta cuestión, el preconcepto de fuerza que estamos comentando, lleva a muchos alumnos a dibujar una línea horizontal después del punto C, pensando que al parar otra vez los motores, la nave vuelve a su dirección original.

RESULTADOS: La cuestión fue pasada entre un total de 168 estudiantes de primer año en la universidad, en un curso de Física para ingenieros, en Massachusetts. Según el autor, el 62% de los alumnos contestaron erróneamente, dibujando el siguiente esquema:



22) Dibujar las flechas que indiquen las fuerzas que actúan sobre el objeto situado sobre la mesa:



ORIGEN: Clement, J. 1982. *American Journal of Physics*, 50, 66-71. Citado por Mc Dermott, 1983. *Critical Review of Research in the Domain of Mechanics. International International Summer Workshop: Research on Physics Education*. La londe les Maures, Francia.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza.

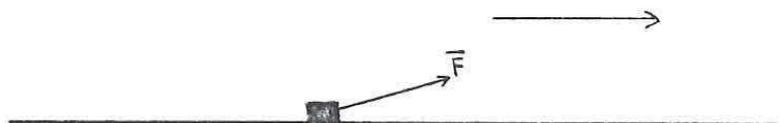
OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Para muchos alumnos, los objetos en reposo no pueden ejercer fuerzas. Esta idea les lleva a contestar la cuestión, dibujando únicamente la fuerza peso. Una respuesta "típica" recogida por Clement, es la siguiente:

"La fuerza de la gravedad es la única que actúa sobre el objeto. La mesa se encuentra en el camino del objeto, por eso este no se mueve,

RESULTADOS: No se citan resultados numéricos de esta cuestión. No obstante nosotros hemos ensayado una cuestión similar entre un total de 286 alumnos de segundo de BUP, a comienzos del curso 86-87, antes por lo tanto de que se les impartiese la materia correspondiente, y hemos obtenido que el 56.2% de los alumnos corroboraban explícitamente la afirmación de que la mesa, no ejercía fuerza alguna sobre el objeto. Por otra parte, la gran mayoría de los alumnos encuestados, señalan que la fuerza que hace el objeto sobre la mesa, es el peso del objeto. Se trata de una identificación más profunda de lo que a primera vista pueda parecer y que consiste no solamente en pensar que el valor de la fuerza normal que el objeto hace sobre la superficie coincide con el valor de la fuerza peso (cosa que para este caso particular es cierta, pero que,

obviamente, no ocurre así siempre), sino en que además, dicha fuerza es precisamente la fuerza peso. Esta idea se mantiene, como hemos podido constatar, en alumnos de cursos superiores.

23) Un objeto se mueve hacia la derecha sobre una superficie plana bajo la acción de una fuerza F tal y como se indica en la figura. Considerando despreciable el rozamiento, contestar verdadero o falso en cada una de las siguientes proposiciones:



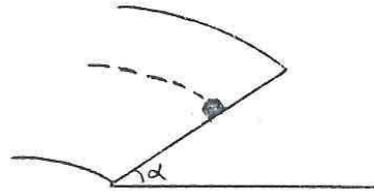
- a) La superficie no hace ninguna fuerza sobre el objeto.
- b) La fuerza que hace el objeto sobre la superficie es el peso del mismo.

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de Interacción. Confusión entre la fuerza normal que el objeto hace sobre la superficie, y la fuerza peso.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión en donde hay que manejar correctamente la idea de interacción. Como ya hemos comentado, para muchos alumnos, los objetos en reposo no ejercen fuerzas. Esto llevaría a señalar verdadera la proposición a. Por otra parte la idea de que la fuerza normal que hace un cuerpo sobre la superficie en que se encuentra es la componente normal del peso de dicho cuerpo, conduciría a señalar la segunda también como verdadera. Lógicamente pueden diseñarse problemas numéricos con cuestiones similares, susceptibles de mostrar estas mismas ideas en caso de que existan.

X 24) Un móvil describe una curva de radio R , con peralte y sin rozamiento, con rapidez constante (movimiento circular uniforme), como se indica en la figura adjunta.



a) Completar el esquema dibujando las fuerzas que actúan sobre el móvil y su resultante.

b) La fuerza que hace el móvil sobre la superficie será: (señalar la propuesta correcta)

1. Igual a la fuerza peso.
2. Mayor que la fuerza peso.
3. Igual a la componente normal del peso.
4. Otra respuesta (especificar).

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de interacción. Identificación de la fuerza normal a la superficie con la componente normal del peso.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión similar a las anteriores aunque para ser propuesta en cursos superiores. Un análisis con cierto cuidado, del esquema correcto, debería llevar a señalar como respuesta correcta para el segundo apartado, la 2. Sin embargo, si la confusión persiste, es de esperar que se den elevados porcentajes de alumnos que señalen la 3 como la correcta.

25) Un bloque se lanza por una superficie plana y de rozamiento despreciable, contra un muelle elástico tal y como se indica en la figura, de forma que el muelle es comprimido desde el punto inicial A, hasta el punto B, donde el bloque queda momentáneamente en reposo antes de retroceder.



En estas condiciones puede afirmarse que la fuerza que hará el bloque sobre el muelle: (señalar la propuesta correcta)

- a) Irá aumentando conforme se vaya comprimiendo el muelle.
- b) Irá disminuyendo conforme se comprima el muelle.
- c) Permanecerá constante.

ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Principio de acción y reacción.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: El preconcepto que relaciona la fuerza con la velocidad, lleva a pensar que conforme disminuye la velocidad del bloque ha de disminuir también la fuerza que hace sobre el muelle. Esto se traduce en señalar la proposición a, como falsa y una de las otras dos como correcta.

RESULTADOS: La cuestión fue ensayada sólomente en un pequeño grupo de 30 alumnos de tercero de BUP, durante el curso 86-87. De estos, el 56.7 indicaron que iría disminuyendo, el 30.0% que sería constante y tan sólo el 13.3 eligieron la propuesta correcta. A continuación reproducimos textualmente una explicación a modo de ejemplo:

"La fuerza irá disminuyendo porque la velocidad con que ha sido lanzado el bloque también va disminuyendo y la fuerza que le hemos transmitido nosotros al bloque también va disminuyendo".

26) Sobre una superficie horizontal se encuentra en reposo un cuerpo. Entonces se ejerce sobre él una fuerza F tal y como se ve en la figura, observándose que a pesar de ello, el objeto continúa sin moverse.



Este hecho se interpreta correctamente diciendo que:.....

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Fuerza de rozamiento.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Al ensayar esta cuestión en clase, cuando hablamos de la fuerza de rozamiento, hemos podido comprobar cómo para algunos alumnos, el fenómeno se explica porque la fuerza de rozamiento ha de ser mayor que la fuerza F . También se da el caso de que se señale a la fuerza peso como responsable y no se mencione la fuerza de rozamiento. En este último caso, hemos encontrado que para muchos alumnos si no hay movimiento, no hay fuerza de rozamiento.

27) En la figura adjunta se muestran dos cuerpos que se encuentran sobre una superficie plana sin rozamiento. Ambos se hallan inicialmente en reposo, el uno junto al otro y sin presionarse. Se hace entonces una fuerza F sobre el objeto A, tal y como se muestra en la figura. Señalar a continuación cual de las siguientes propuestas es la correcta:

- a) La fuerza que actuará sobre el B será menor que F .
- b) La fuerza que actuara sobre el B será igual a F .
- c) La fuerza que actuará sobre el B será mayor que F .



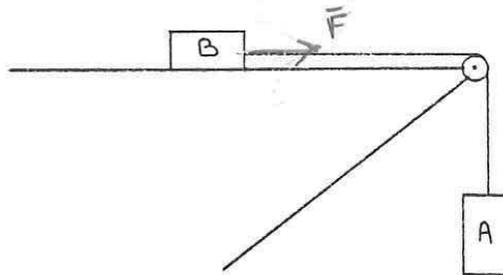
ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Dinámica. Concepto de Interacción.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata con esta cuestión de poner de manifiesto la idea errónea, de que los objetos transmiten las fuerzas sin cambiarlas. Esta aparece frecuentemente cuando se utilizan sistemas con cuerdas, poleas, etc. En esta cuestión, llevaría a contestar que la fuerza sobre B, ha de valer lo mismo que la fuerza sobre A.

28) En el esquema de la figura, el bloque B, desliza sobre la superficie de la mesa. La fuerza \vec{F} que actúa sobre él, es ejercida por:

- a) El bloque A.
- b) La tierra.
- c) La mesa.
- d) La polea.



ORIGEN: Iowi, U. 1984. *Physics Education*. Vol 19, p 279.

CAMPO: Dinámica. Concepto de Interacción.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión análoga a la anterior. Iowi la utilizó con 258 alumnos de secondary school en Nigeria. Una gran parte de los alumnos señaló como correcta la opción a, asignando a la cuerda el papel de simple transmisor de la fuerza ejercida por A, pensando que como la cuerda sola no haría ninguna fuerza sobre B, tampoco es ella la que de verdad la hace en la situación descrita.

RESULTADOS: De los 258 alumnos encuestados, el 77.1 % se decantó por la opción a.

29) Se disponen dos masas puntuales iguales una frente a otra, inicialmente en reposo. Ambas se cargan eléctricamente con cargas de distinto signo. Sabiendo que la carga de A vale el doble que la carga de B, señala con una cruz dónde crees que se encontrarán ambas cuando se dejen en libertad:

- a) En el punto medio M.
- b) A la derecha de M.
- c) A la izquierda de M.

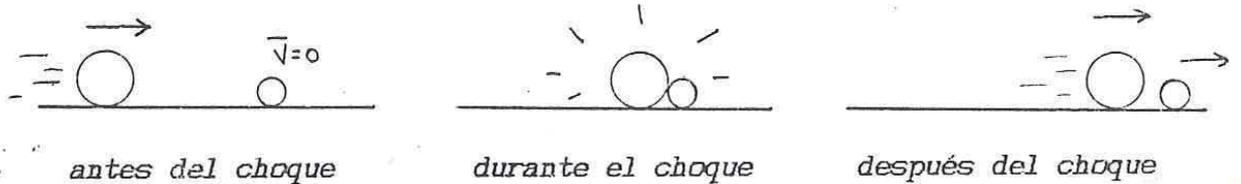


ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de interacción.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Una gran parte de los alumnos cree que al ser la carga de A el doble que la de B, esta última será atraída con el doble de fuerza, señalando entonces que se encontrarán a la izquierda de M.

30) Una bola de acero se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal (rozamiento despreciable). Otra bola mayor, también de acero, se dirige frontalmente hacia ella y chocan. Se pide: Dibujar sendos vectores representativos de las fuerzas que actúan sobre cada bola: antes del choque, durante el choque y después del choque.

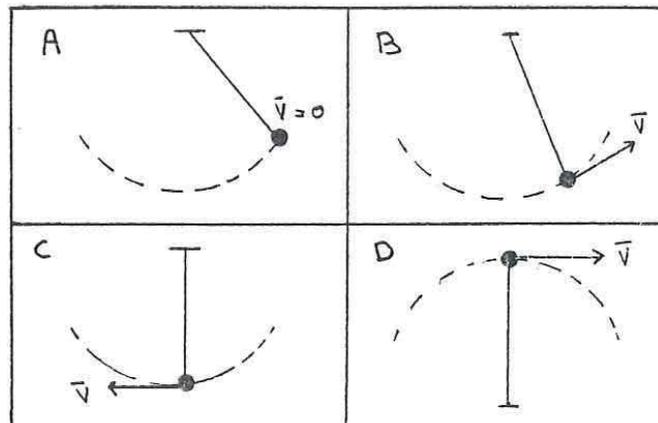


ORIGEN: Carrascosa y Gil

CAMPO: Dinámica. Concepto de Interacción. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: En esta cuestión, pueden ponerse de manifiesto varios aspectos del preconcepto de fuerza utilizado por los alumnos. Por una parte estaría el dibujar una fuerza horizontal hacia la derecha sobre la bola en movimiento, antes del choque. Por otra, el dibujar vectores de diferente tamaño en el momento del choque, pensando que la fuerza que hace la bola más grande ha de ser mayor que la que hace la más pequeña (por ser de mayor masa y por estar en movimiento y la otra no). También pueden aparecer fuerzas horizontales después del choque. Finalmente, señalaremos, que otro error común sería el no dibujar la fuerza que la superficie hace sobre la bola (y sí en cambio la fuerza peso), pensando que las superficies de objetos inanimados en reposo no ejercen fuerzas.

31) En las figuras siguientes se muestran cuatro situaciones diferentes en las que se encuentra la bolita de un péndulo. Dibujar las fuerzas que actúan sobre la misma y su resultante, en cada caso.

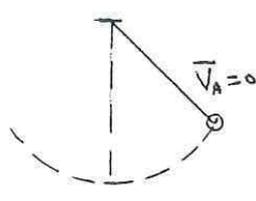
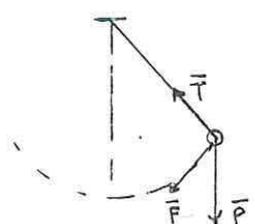
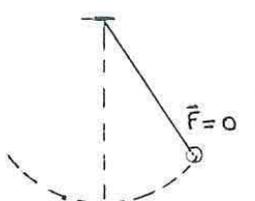
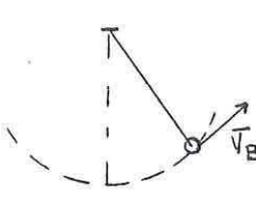
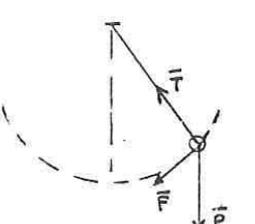
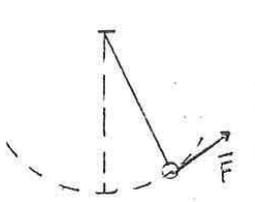
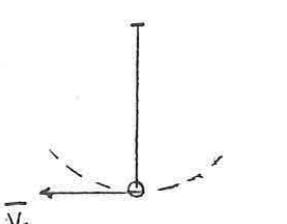
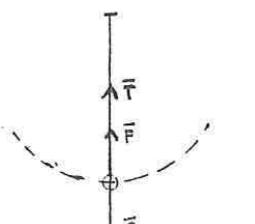
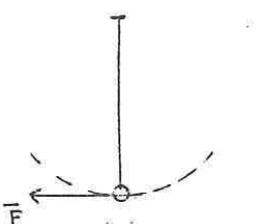
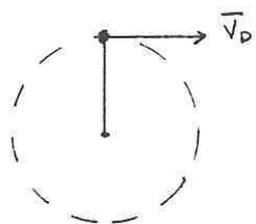
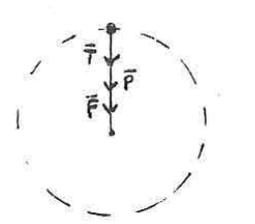
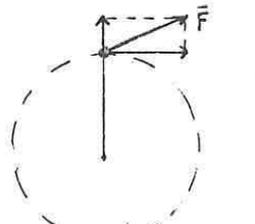


ORIGEN: Viennot, 1979. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Hermann, Paris.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de establecer el porcentaje de alumnos que utilizan la idea de fuerza proporcional a la velocidad, según la posición de la bolita del péndulo.

RESULTADOS: Los resultados que se exponen a continuación, proceden de 60 estudiantes de ciencias de primer año de carrera. Como puede comprobarse, cuando las fuerzas reales no pueden, "explicar" la velocidad de la bola, los alumnos introducen otra fuerza que si lo hace. Esta fuerza es la fuerza "de la bola", que puede asimilarse con el "ímpetu" o "impulso" que lleva la bola en movimiento. El porcentaje de error aumenta desde la situación A hasta la situación D, donde es casi del 50%. A continuación se reproduce un diagrama describiendo los errores más frecuentes:

	DATO CINEMATICO	\vec{F} . RESULTANTE	E.MAS FRECUENTE
A			
B			
C			
D			

32) *Supongamos que toda la atmosfera que rodea a la tierra desapareciese totalmente, quedando el planeta rodeado por el vacio. En estas condiciones puede afirmarse que: (señala la respuesta correcta)*

- a) *El peso de los cuerpos sobre la superficie de la tierra disminuiría.*
- b) *El peso de los cuerpos sobre la superficie de la tierra se anularía*
- c) *El peso de los cuerpos sobre la superficie de la tierra no variaría.*

ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Dinámica. Fuerza de la gravedad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Cuando diseñamos esta cuestión ya sabíamos que para algunos alumnos la presencia del aire les parecía necesaria para la existencia de gravedad. No obstante al pasarla entre alumnos de segundo de BUP, durante los primeros días de curso, nos llevamos la sorpresa de que dicha idea se encuentra muy extendida, como se desprende de los resultados obtenidos.

RESULTADOS: De 286 alumnos de 2º de BUP encuestados, ninguno se la dejó en blanco, y el 82.5 % señaló con una elevada seguridad a o b como propuesta correcta.

33) *Un satélite gira alrededor de la tierra con movimiento circular y uniforme, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales: (señalar con una cruz la respuesta correcta)*

- a) *La fuerza de atracción gravitatoria.*
- b) *La gravitatoria y la centrífuga.*
- c) *La gravitatoria y la centrípeta.*
- d) *La gravitatoria, la centrífuga y la centrípeta.*
- e) *Otra respuesta (especificar).*

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

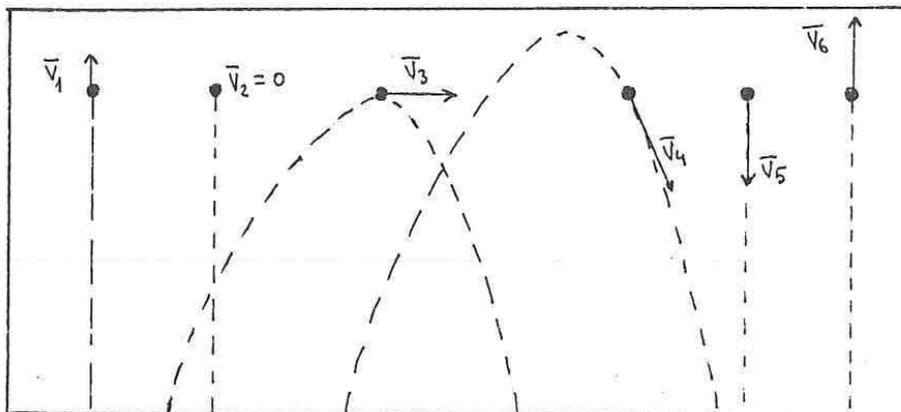
CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza velocidad. Identificación de la fuerza centrípeta como un tipo de interacción más.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Los alumnos utilizan la fuerza centrífuga para justificar que el satélite no caiga sobre la tierra (lo cual es coherente y refuerza el preconcepto de fuerza como causa del movimiento). Esto les lleva a no señalar la propuesta correcta a. Además, algunos piensan en la fuerza centrípeta como un tipo más de interacción, lo que les lleva a señalar la d, como correcta.

RESULTADOS:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>porcentajes de error.</u>
Alumnos de COU	265	87.9
Alumnos de CAP	136	82.4
Profesores de F y Q de E.M.	195	60.0

34) Un malabarista juega con seis bolas idénticas. En un cierto instante, las seis bolas se encuentran en el aire a la misma altura, siguiendo las trayectorias mostradas en la figura. (También se muestran los vectores velocidad de las bolas en ese instante)



¿Las fuerzas que actúan sobre las bolas en el instante indicado, son iguales o diferentes?. Justificar la respuesta. (Considerar nula la resistencia con el aire). ¿Son iguales las energías potenciales?

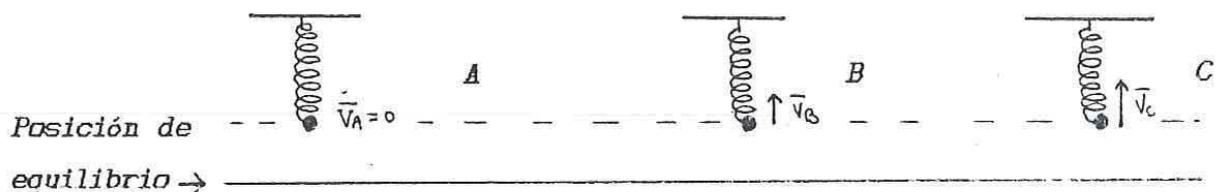
ORIGEN: Viennot, L. 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*. Vol 1, nº 2. pp 205-222.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La relación que los alumnos establecen entre fuerza y velocidad les lleva a contestar que serían diferentes. No ocurre así con la energía potencial.

RESULTADOS: La cuestión fue pasada a 311 alumnos en total (29 de último año de escuela secundaria y el resto universitarios de diferentes países (Francia, Bélgica y Gran Bretaña), con el resultado de que el 39% de los alumnos de secundaria señalaban que las fuerzas serían iguales. Este porcentaje aumentaba hasta aproximadamente el 50% entre los alumnos universitarios. En cambio respecto a la energía potencial, el porcentaje de respuestas correctas fue en general superior al 80%.

35) Tres muelles elásticos idénticos se encuentran suspendidos del techo por uno de sus extremos. Del otro extremo pende una masa M igual en los tres casos. Los tres muelles oscilan respecto a la posición de equilibrio, con diferentes amplitudes (el rozamiento se considera despreciable). En un instante dado, cuando la masa M del muelle A alcanza su máxima altura (con velocidad $V_A = 0$, las del B y C se encuentran a la misma altura pero todavía subiendo, con distintas velocidades V_B y V_C , tal y como se muestra en la figura adjunta.



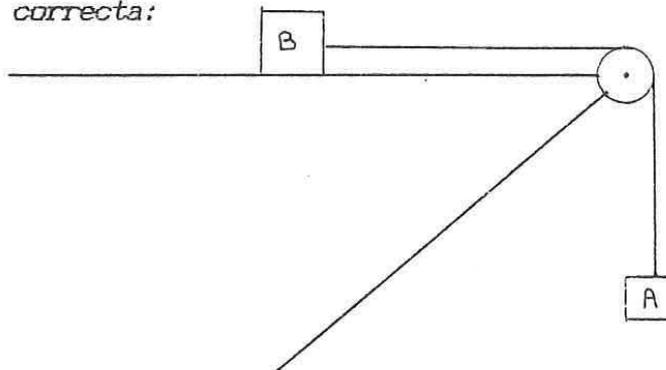
Razonar si la fuerza total que actúa sobre M será la misma o distinta en los tres muelles. Idem respecto a la energía potencial.

ORIGEN: Viennot, L. 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*. Vol, 1. Nº2, pp 205-222.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión de la misma naturaleza que la anterior. Esta fue pasada también a estudiantes de escuela secundaria y universitarios de varios países (un total de 398), con resultados similares.

36) En la figura adjunta ambos cuerpos se encuentran inicialmente en reposo. Se supone que el rozamiento es nulo y la masa de la cuerda y de la polea despreciables. Señalar con una cruz la proposición correcta:



- a) B comenzará a moverse sólo si la masa de A es mayor que la de B.
- b) Para que B comience a moverse basta con que la masa de A tenga el mismo valor que la masa de B.
- c) Otra respuesta (especificar).....

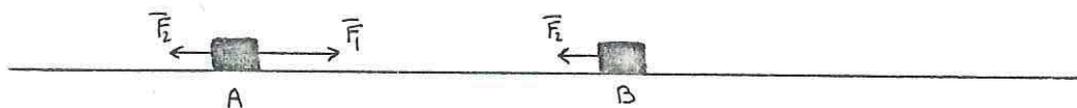
ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Resistencia de los cuerpos al movimiento.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Como es sabido, el concepto newtoniano de fuerza permite afirmar que por muy pequeña que sea la fuerza resultante que actúe sobre un objeto rígido en reposo relativo (sea cual sea su masa), éste se pondrá en movimiento. Sin embargo esto no es intuitivo para los alumnos. Para muchos de ellos, el peso se opone al movimiento de un objeto inicialmente en reposo, incluso aun cuando no haya rozamiento. Es precisamente esta idea junto con hábitos metodológicos inadecuados, la que lleva a señalar como correcta la opción a o b y no razonar que por muy pequeña que fuese la masa de A, B comenzaría a moverse (obviamente con mayor aceleración cuanto mayor fuese la masa de A).

RESULTADOS: La cuestión anterior se pasó durante el curso 85-86, a un grupo de 25 alumnos del CAP y a otro de 32 profesores de Física y Química de Enseñanza Media en activo, resultando que el porcentaje de respuestas erróneas en los alumnos fue del 66.6% y en los profesores del 62.5%.

37) Sobre un objeto inicialmente en reposo en el punto A de una superficie horizontal y sin rozamientos, comienzan a actuar dos fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 , tal y como se indica en la figura. La fuerza \vec{F}_1 vale justamente el doble que la \vec{F}_2 . El objeto alcanza el punto B a los 10 segundos de empezar a moverse. Justo en ese instante cesa la \vec{F}_1 y queda sólo la \vec{F}_2 que sigue actuando durante otros 10 segundos más y entonces cesa también. Se pide:



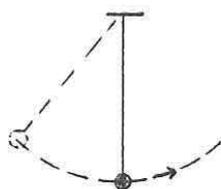
Señalar lo más aproximadamente posible, por medio de una X, la posición donde se encontrará el objeto en el instante en que cesa F_2

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/movimiento.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La relación entre fuerza y movimiento manejada por muchos de los alumnos, hace que estos piensen que en el punto B, al cesar F_1 , y quedar la otra fuerza hacia la izquierda, el objeto ha de moverse inmediatamente hacia la izquierda. En este caso, la respuesta podría ser que se encontraría a la izquierda de B y más concretamente en el punto A de donde partió. El enunciado, evidentemente, puede ser simplificado para proponerse a alumnos de cursos elementales. Así por ejemplo la pregunta en este caso podría ser: ¿Qué le ocurrirá al objeto en el instante en que cesa F_1 ?

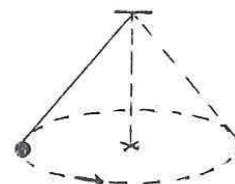
38) Dibujar las fuerzas reales y su resultante, que en cada una de las siguientes situaciones actúan sobre la bola. (La flecha indica en cada caso el sentido de movimiento en el instante representado. El rozamiento se considera nulo).



péndulo simple



plano horizontal



péndulo cónico.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Relación fuerza/velocidad.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: En cada una de las situaciones anteriores, el error conceptual consistiría en dibujar fuerzas en el sentido del movimiento.

39) Un objeto de masa m circula con una velocidad de 5 m/s , mientras que otro de masa $(3/4)m$ lo hace a 6 m/s . ¿Cual de los dos posee más fuerza?

a) El A

b) El B

c) Otra respuesta...

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Dinámica. Concepto de fuerza. Los objetos en movimiento poseen fuerza.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La idea de que los objetos en movimiento poseen fuerza (lo que recuerda a la teoría del ímpetu), y la relación que se establece entre esta y la velocidad, o la cantidad de movimiento, lleva a contestar erróneamente la cuestión y no señalar que en ningún caso los objetos "poseen fuerza". Cuando se ha propuesto esta cuestión, hemos podido comprobar cómo muchos alumnos intentan contestarla rápidamente mediante una fórmula, poniendo la aceleración como V/t y multiplicando por m . Otros contestan que "no se puede saber" ya que haría falta la aceleración.

RESULTADOS: El 73% de 114 alumnos encuestados de COU, y el 48% de 195 profesores de Física y Química de enseñanza media en activo, contestaron erróneamente la cuestión.

ERRORES CONCEPTUALES EN HIDROSTATICA

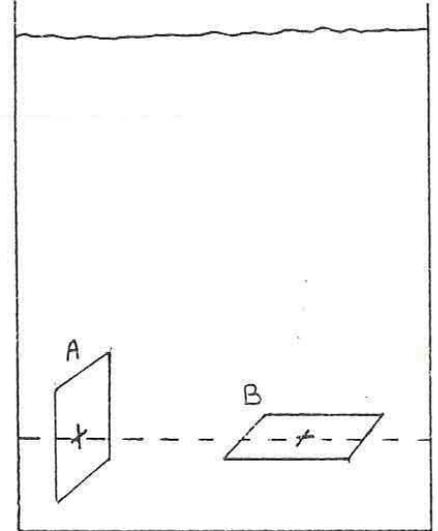
40) Dos láminas planas se encuentran casi en el fondo de un estanque, según se indica en el esquema adjunto. Señalar V (verdadero) o F (falso), en cada una de las siguientes proposiciones:

a) La presión que el agua ejerce sobre el centro de la lámina A es cero.

b) La presión sobre el centro de las dos láminas, es la misma.

c) La presión es mayor sobre el centro de la lámina B que sobre el de la A.

d) La presión sobre el centro de la B pero por la parte de bajo, es nula.



ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Hidrostática. Concepto de presión.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Muchos alumnos creen en principio, que los cambios de presión en un fluido no se acusan por igual en todos los puntos, sino que se notan más hacia el fondo. Ello se traduciría en no escoger la opción b como correcta y si en cambio alguna o algunas de las otras.

RESULTADOS: La cuestión anterior, fue pasada a comienzos del curso 86-87, a un total de 286 alumnos de segundo de BUP, con los siguientes resultados:

1º) Tan solo se dieron tres respuestas en blanco.

2º) El porcentaje de alumnos que señaló la A) como correcta fue del 26.5%

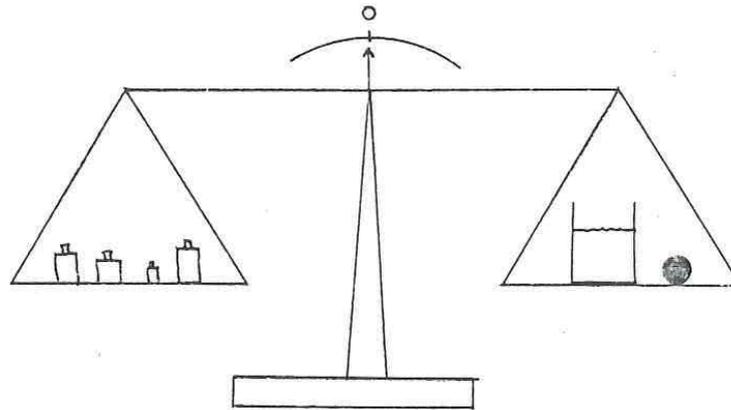
3º) El porcentaje que señaló b como falsa fue del 64.3%

4º) El porcentaje de alumnos que señaló la c como correcta fue del 64.3%

5º) El porcentaje de alumnos que señalaron d como correcta fue del 23.6%

Vemos pues que los errores contemplados en a y d no son muy mayoritarios, pero que los de b y c son igualmente frecuentes, lo que se explica porque la mayoría de los alumnos que señalaba b incorrecta, calificaba complementariamente la c como la correcta. Si contabilizamos el total de alumnos que calificaron correctamente las cuatro propuestas, el porcentaje resultó del 17.7%

41) En la figura adjunta se representa una balanza en la que en el platillo de la derecha hay un recipiente con agua y a su lado una bola. La balanza está en equilibrio debido a las pesas que se han colocado en el platillo de la izquierda.



Se coge la bola y con cuidado se introduce en el recipiente, observándose que queda flotando, sin cubrirse totalmente por el agua. ¿Qué le ocurre entonces a la aguja de la balanza? (señala la proposición que te parezca correcta).

- a) Se quedará en el centro.
- b) Se desviará un poco a la derecha.
- c) Se desviará un poco a la izquierda

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Hidrostática.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Algunos alumnos, piensan que por el hecho de sumergir los cuerpos en un líquido, pesan menos. Ello se traduciría en señalar la opción c, como la correcta.

42) Contestar cada una de las siguientes proposiciones:

a) Los cuerpos que llamaremos 1, 2, 3 y 4, tienen las características que se indican en la tabla:

Cuerpo	1	2	3	4
Naturaleza	Plástico	Hierro	Madera	Corcho
Volumen	2 litros	2 litros	2 litros	2 litros

Si sumergimos totalmente esos cuerpos en agua, ¿Cual de ellos desalojará más agua?, ¿Cual desalojará menos agua?

b) Los cuerpos que llamaremos 5,6,7 y 8, tienen las características que se indican en la tabla:

Cuerpo:	5	6	7	8
Forma:	Bola	Cilindro	Caja de zapatos	Botella de sidra
Volumen:	3 litros	3 litros	3 litros	3 litros

Si sumergimos totalmente esos cuerpos en agua, ¿Cual de ellos desalojará menos agua?, ¿Cual desalojará menos agua?

c) Los cuerpos que llamaremos 9, 10, 11 y 12, tienen las características que se indican en la tabla:

Cuerpo:	9	10	11	12
Masa:	200 g.	200 g.	200 g.	200g.
Volumen:	1.5 litros	1.5 litros	1.5 litros	1.5 litros.

Si sumergimos totalmente esos cuerpos en agua, ¿Cual de ellos desalojará más agua?, ¿Cual desalojará menos agua?

d) Los cuerpos que llamaremos 13, 14, 15 y 16, tienen las características que se indican en la tabla:

Cuerpo:	13	14	15	16
Peso:	3 Kp	7 Kp	5 Kp	4 Kp
Volumen:	4 litros	4 litros	4 litros	4 litros

Si sumergimos totalmente esos cuerpos en agua, ¿Cual de ellos desalojará más agua?, ¿Cual desalojará menos agua?

e) Los siguientes líquidos tienen las características que se indican:

El mercurio es mucho más pesado que el agua de mar.

El agua de mar es más pesada que el agua pura.

El agua pura es más pesada que el alcohol.

El alcohol es más pesado que el aceite.

Si sumergimos totalmente en cada uno de esos líquidos un cuerpo de 25 cc de volumen. ¿En qué caso el cuerpo desalojará más volumen de líquido?. ¿En que caso desalojará menos volumen de líquido?.

ORIGEN: Fernandez, Fernandez, J.M. Estudio del grado de persistencia de ciertos preconceptos sobre la estática de fluidos en alumnos de 2º de BUP.Enseñanza de las Ciencias. Volumen 5, nº1, pp 27-32.

CAMPO: Hidrostática. Volumen de líquido desalojado al sumergir un cuerpo en el mismo, en diferentes casos.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Los alumnos suelen tener graves dificultades en comprender el concepto de densidad y para muchos de ellos no es evidente que al sumergir cuerpos de distinta masa, forma, etc, aunque tengan el mismo volumen, desalojen siempre el mismo volumen de líquido. Los diferentes apartados de esta cuestión pueden poner de manifiesto ideas erróneas al respecto.

RESULTADOS: La cuestión anterior se pasó entre 156 alumnos de 2º de BUP dos veces. La primera antes de comenzar el estudio del tema de estática de fluidos, y la segunda dos meses después de verlo. Algunos de los resultados obtenidos en el primer pase fueron:

El 62.2% de los alumnos contestaron para la primera de las proposiciones, que el hierro era el que desalojaba más volumen.

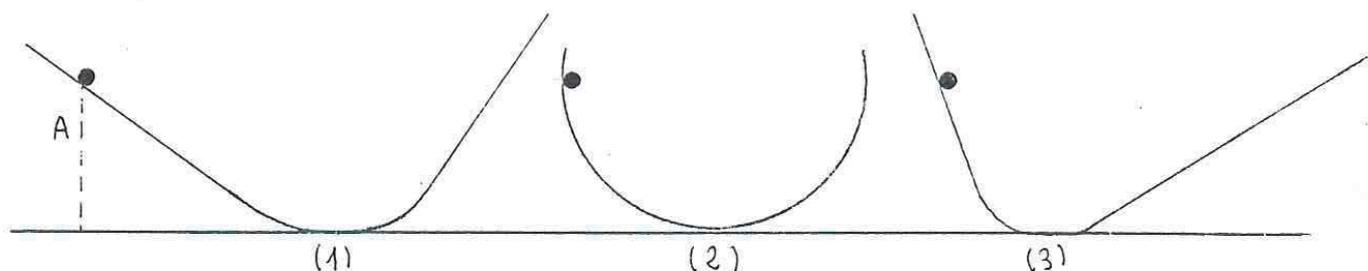
El 26.9% de los alumnos contestaron para la segunda proposición que el cuerpo con forma de bola era el que más volumen desalojaba.

En la tercera proposición se obtuvo un porcentaje de aciertos del 73.1%.

En la cuarta proposición, el 71.8% de los alumnos contestaron que el cuerpo que más pesaba desalojaría más volumen y viceversa.

ERRORES CONCEPTUALES EN TRABAJO Y ENERGIA

43) Las tres figuras adjuntas representan recipientes de distintas formas y paredes completamente lisas, situados sobre una superficie horizontal. Una bola se deja resbalar desde lo alto de la pared izquierda de cada recipiente (al mismo nivel en los tres casos). Considerando nulo el rozamiento, subraya a continuación la propuesta que creas más correcta en cada caso:



- a) En el recipiente 1, la bola alcanzará sobre la pared de la derecha:
 Menor altura que A Igual altura que A Mayor altura que A.
- b) En el recipiente 2, la bola alcanzará sobre la pared de la derecha:
 Menor altura que A Igual altura que A Mayor altura que A.
- c) En el recipiente 3, la bola alcanzará sobre la pared de la derecha:
 Menor altura que A Igual altura que A Mayor altura que A.

ORIGEN: Halloun, A.I y Hestenes, D. 1985. The initial knowledge state of college physics students. *American Journal Physics*, 53 (11), pp 1043-1055.

CAMPO: concepto de Energía. Principio de conservación.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La mayoría de los alumnos han oído hablar del principio de conservación de la energía, pero no obstante tienen dificultades en aplicarlo en situaciones concretas como ocurre en este caso, donde una incorrecta comprensión del mismo suele llevar a indicar que en la figura 1, alcanzar mayor altura, igual en la 2 y menor en la 3.

44) Se ha de subir un objeto al camión de la figura, utilizando una de las rampas. Suponiendo el rozamiento despreciable, señala cual de las siguientes proposiciones te parece más correcta.

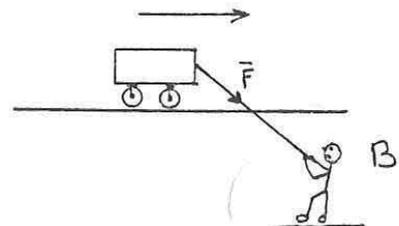
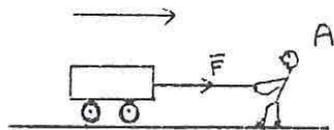
- a) Se realiza menos trabajo por la A.
- b) Se realiza menos trabajo por la B.
- c) Se realiza el mismo trabajo por las dos.

ORIGEN: Carrascosa y Gíl

CAMPO: Concepto de Trabajo. Confusión entre trabajo y esfuerzo.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de establecer si se da la identificación de trabajo con esfuerzo. Esta llevaría a contestar que se realizaría menos trabajo por la rampa que está menos inclinada porque hay que hacer menos fuerza para subirlo y se cansa uno menos. Se trata, evidentemente, de una confusión originada por los significados y características que en el lenguaje cotidiano se dan en torno al trabajo.

45) Dos alumnos trasladan 10 m una vagoneta, haciendo la misma fuerza. Cada uno de ellos lo hace de una forma distinta, tal y como se indica en la figura. Señalar con una cruz cual de las siguientes afirmaciones es la correcta:



- a) El A habrá realizado más trabajo.
- b) El B habrá realizado más trabajo.
- c) Ambos harán el mismo trabajo

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Concepto de trabajo. Confusión entre trabajo y esfuerzo.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La cuestión es similar a la anterior. Algunos alumnos piensan que dado que resulta más incómodo el arrastrar la vagoneta como lo hace el alumno B, será este el que tendrá que realizar más trabajo.

46) Señalar verdadero o falso en cada una de las siguientes expresiones:

- a) *El calor es una forma de pasar energía de un cuerpo a otro que están a diferente temperatura.*
- b) *El calor es una forma de energía que tienen los cuerpos según su temperatura.*
- c) *La temperatura mide el grado de calor que posee un cuerpo.*

ORIGEN: Seminario de Física y Química. ICE Universidad de Valencia

CAMPO: Concepto de calor. Confusiones en torno al calor, la energía y la temperatura.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: El calor es identificado erróneamente -incluso en muchos libros de texto- no como un proceso de intercambio de energía, sino como una forma concreta de energía. Se piensa entonces que los cuerpos pueden poseer calor y que la temperatura mide la cantidad de calor que contienen o según otros el grado o concentración de calor.

RESULTADOS: Esta cuestión se pasó a un total de 230 alumnos de segundo de BUP, resultando que tan solo el 21% de los mismos señalaba la expresión a como la correcta.

47) Un sistema está constituido por un objeto de masa m y la tierra M .
En este caso podemos asegurar que: (señalar con una cruz la respuesta correcta)

- a) Sólo el cuerpo de masa m posee energía potencial gravitatoria
- b) La energía potencial del cuerpo es mayor que la de la tierra
- c) La energía potencial de la tierra es mayor que la del cuerpo
- d) Otra respuesta (especificar)...

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Trabajo y Energía. Concepto de energía potencial.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Para muchos alumnos, la energía potencial gravitatoria, es algo que posee cada cuerpo y no una función del sistema.

RESULTADOS: La cuestión ha sido pasada entre un total de 164 profesores de Física y Química de Enseñanza Media en activo, obteniendo un porcentaje de respuestas erróneas de más del 75%.

ERRORES CONCEPTUALES EN OPTICA

48) Señalar por medio de una cruz cual es la afirmación más correcta:

- a) De nuestros ojos sale luz que llega a los objetos haciendonos notar su presencia.
- b) Para poder ver un objeto, es necesario que éste difunda la luz que recibe (del sol, bombilla etc), en todas direcciones.
- c) Podemos ver los objetos gracias a que su imagen es transportada hasta nuestros ojos por la luz que reflejan.

ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Optica.

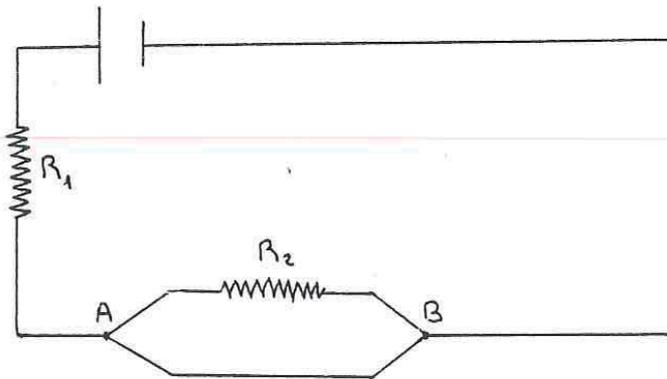
OBJETIVOS Y COMENTARIOS: En esta cuestión, se trata de poner de manifiesto la idea errónea según la cual la imagen de los objetos es transportada ya formada, por la luz hasta nuestros ojos. La propuesta a, se da con cierta frecuencia entre los niños más pequeños y recuerda ciertas concepciones que se dieron en la antigua Grecia, sobre el mecanismo de la visión.

RESULTADOS:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error.</u>
Séptimo de E.G.B.	134	70.9
Primero de B.U.P.	259	57.9
Tercero de B.U.P.	206	45.1
C.O.U	186	50.5
Primero de Magisterio	65	56.9
Segundo de Químicas	92	26.1

ERRORES CONCEPTUALES EN ELECTRICIDAD

49) Considerar el siguiente circuito eléctrico y explicar que le ocurre a la corriente eléctrica entre A y B.



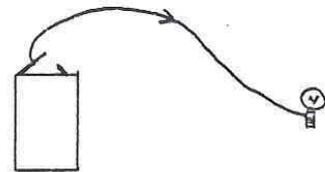
ORIGEN: Johsua Samuel. 1984. *European Journal of science education*. Vol 6, nº3, pp 271-275.

CAMPO: Corriente eléctrica. Concepto de resistencia.

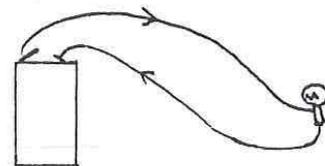
RESULTADOS: Según el autor, al pasar esta cuestión entre alumnos universitarios, el 68% de los mismos señaló que por la resistencia R_2 pasaba corriente, el 26% contestó bien y el 6% no contestó.

50) Señalar cual de las situaciones siguientes describe correctamente lo que le ocurre a la corriente eléctrica:

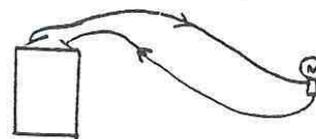
a) La corriente sale de un polo de la pila y se consume en la bombilla.



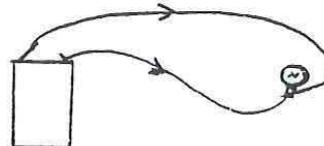
b) Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



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



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



ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Electricidad, Intensidad de corriente.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Existe la idea entre muchos estudiantes que la intensidad de la corriente eléctrica ha de disminuir cuando atraviesa una resistencia. En esta cuestión, puede ponerse de manifiesto la idea de que parte o incluso toda la corriente se gasta en la bombilla, identificando la corriente eléctrica con energía que se transforma o que se consume.

RESULTADOS: Esta cuestión ha sido ensayada con numerosos alumnos de diferentes niveles. Los resultados se exponen a continuación.

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error</u>
Séptimo de E.G.B.	134	83.6
Primero de B.U.P.	265	84.2
Tercero de B.U.P.	212	66.0
C.O.U.	239	66.9
Primero de Magisterio	64	59.4
Segundo de Químicas	92	30.4

Cuando analizamos los resultados para ver el porcentaje de alumnos que habían escogido cada opción nos encontramos con que de los alumnos de séptimo de E.G.B que contestaron erróneamente, el 77% lo hizo escogiendo la opción d como correcta, mientras que solamente el 15% señaló como correcta la opción b. Analizando la evolución de estos porcentajes pudimos comprobar cómo el número de alumnos que se decantaban por la opción b iba aumentando con el nivel educativo mientras que los que escogían d iba disminuyendo, de forma que en 2º de Químicas prácticamente se invertían los términos: de los alumnos que contestaron erróneamente, el 85% lo hizo escogiendo la opción b como correcta y sólo el 14% escogió la d.

ERRORES CONCEPTUALES EN QUIMICA

51) *Experimentalmente se observa que al calentar mucho el hierro, se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porque: (señalar cierto o falso en cada proposición)*

a) *Los enlaces entre los átomos de hierro se debilitan, muchos se rompen, etc.*

b) *Los átomos de hierro inicialmente duros, se hacen cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura*

c) *Otra respuesta (especificar).....*

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Naturaleza de las partículas. Cambios de estado.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Una de las concepciones erróneas que pueden detectarse respecto a las propiedades de las partículas consiste en suponer que son ellas mismas las que sufren cambios de tamaño, temperatura, etc. Así por ejemplo algunos niños piensan que cuando se saca un trozo de hielo del frigorífico, las partículas están "duras y todas juntas" pero al aumentar la temperatura, "se va cada una por un lado y se funden." La cuestión anterior, permite detectar la presencia de esta idea.

RESULTADOS: Esta cuestión fue pasada a 286 alumnos de 2º de BUP, a principios del curso 86-87, con el resultado de que solamente tres alumnos no la contestaron y de los 283 restantes, el 54.4% señaló la proposición b como la correcta.

52) *Señalar cierto o falso en cada una de las siguientes proposiciones:*

a) *El alcohol puro es un elemento.*

- b) *El agua es una mezcla de hidrógeno y oxígeno*
c) *El aire es un compuesto.*

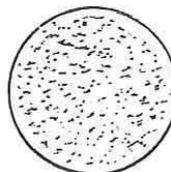
ORIGEN: Seminario de Física y Química. ICE Universidad de Valencia.

CAMPO: Concepto de elemento, mezcla y compuesto.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de detectar posibles confusiones en torno a los conceptos de elemento, mezcla y compuesto.

RESULTADOS: Al pasar esta cuestión entre 286 alumnos de segundo de BUP (antes de dar nada de Química), ninguno contestó correctamente la cuestión completa. El porcentaje por ejemplo, de los que contestaron que el agua es una mezcla de hidrógeno y oxígeno fue del 90.2% y que el aire es un compuesto, del 81.8%. Estos altos porcentajes de error, muestran que los alumnos, emplean los términos citados, con un significado distinto al que se les da científicamente, y que estas concepciones se encuentran bien definidas y muy extendidas.

53) *La figura A, representa una esfera conteniendo en su interior 20 gramos de agua líquida. A continuación se calienta el agua hasta conseguir que toda ella se encuentre en estado gaseoso (figura B). Señala con una cruz, la proposición que creas más correcta:*



- a) *B pesará lo mismo que A, b) B pesará un poco menos c) B pesará 20 gr menos,*

ORIGEN: Furió, C., Hernandez, J. y Harris, H. 1987. Parallels between adolescents' conception of gases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*. Aceptado para su publicación.

CAMPO: Naturaleza de los gases.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La creencia de que la materia en estado gaseoso, no pesa o pesa menos, llevaría a contestar como correctas las proposiciones b o c.

RESULTADOS: La cuestión fue pasada por nosotros, entre 286 alumnos de segundo de BUP, con los siguientes resultados: Sólo una respuesta en blanco y un 58.2% de respuestas erróneas.

54) Señalar cual de las siguientes afirmaciones es correcta:

Según el modelo atómico de Bohr, el ión H^+ es:

- a) Únicamente el núcleo del átomo de hidrógeno.*
- b) El núcleo del átomo y una sola órbita vacía.*
- c) El núcleo del átomo y varias órbitas vacías.*

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Concepto de órbita atómica.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de mostrar con esta cuestión, la idea de que las órbitas en los átomos, tienen existencia real independiente de los electrones. Se trata de un error fundamentalmente metodológico, pero que se da de hecho entre un gran número de alumnos.

RESULTADOS: Esta cuestión ha sido ensayada entre alumnos de 2º de BUP, COU, alumnos del Curso de Aptitud Pedagógica (CAP) y profesores de Física y Química de Enseñanza Media, con los resultados siguientes:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>porcentajes de error.</u>
Segundo de BUP	172	72.7
C.O.U.	64	68.8
Alumnos del C.A.P.	25	56.0
Profesores de E.M.	32	45.2

55) Al calentar el sólido NH_4Cl se descompone en HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanzará un estado de equilibrio según la ecuación:



Señala cual de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración del sólido NH_4Cl :

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) Disminuir la presión.
- d) Otra, respuesta (especificar)...

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

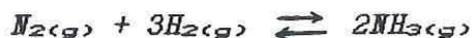
CAMPO: Concepto de concentración.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Se trata de una cuestión para poner de manifiesto la confusión entre cantidad de sustancia y concentración. También sirve sobre todo, para poner de manifiesto lo que hemos denominado operativismo mecánico, caracterizado esencialmente por proceder a la sustitución de datos en fórmulas, sin ninguna reflexión previa, etc. -lo que lleva a contestar la cuestión, sin fijarse en el estado sólido del cloruro de amonio (sobre el cual se insiste tres veces en el enunciado)

RESULTADOS:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error</u>
Alumnos de C.O.U.	265	98.5
Alumnos del C.A.P.	136	95.1
Profesores de E.M.	195	94.9

56) Una mezcla de N_2 , H_2 y NH_3 está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación:



La mezcla en equilibrio contiene:

- 1.3 moles de NH_3
- 0.1 moles de N_2
- 0.3 moles de H_2

Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio K_c para dicha reacción. Elige cual de las respuestas siguientes te parece correcta:

$$a) K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$$

$$b) K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$$

c) Otra respuesta

d) No lo sé.

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

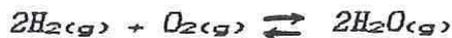
CAMPO: Equilibrio químico. Concepto de concentración.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Esta cuestión es similar a la anterior y pueden hacerse las mismas consideraciones. La confusión entre masa y concentración y M_{cas} aún, el operativismo mecánico, llevan a contestar como correcta la opción b.

RESULTADOS:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error</u>
Alumnos de C.O.U.	114	94.7
Profesores de E.M.	195	68.2

57) Cuando representamos la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno gaseosos por medio de la ecuación química:



Dicha ecuación nos indica que: (Señalar cierto o falso en cada caso)

a) Inicialmente había dos moles de moléculas de Hidrógeno y una mol de moléculas de oxígeno, y al reaccionar se han transformado en dos moles de moléculas de agua.

c) Cada dos gramos de hidrógeno que reaccionan, lo hacen con un gramo de oxígeno dando dos gramos de agua.

d) Otra respuesta.....

e) No lo sé.

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Significado de los coeficientes numéricos de la ecuación química.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Con esta cuestión, se pueden detectar ideas equivocadas respecto al significado de los coeficientes numéricos que aparecen delante de las fórmulas en las ecuaciones químicas. Concretamente nos referimos a la creencia de que dichos coeficientes indican las cantidades de que efectivamente se parte y las cantidades que efectivamente se obtienen. Incluso para algunos alumnos, estas cantidades son identificadas con gramos.

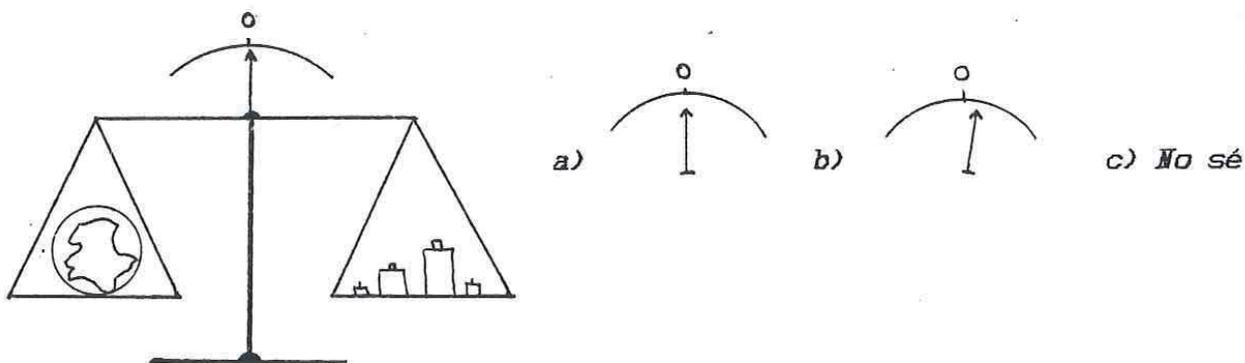
RESULTADOS:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error</u>
2º de B.U.P	172	98.1
Alumnos de C.O.U.	64	95.1

Respecto a cada una de las opciones, cabe destacar que por ejemplo en 2º de BUP, la opción a) fue calificada como cierta en un 80% de los casos y la b) en un 45%. En este último resultado hay que tener en cuenta que en el ejemplo utilizado los coeficientes no suman lo mismo en ambos

miembros. Lógicamente, pueden diseñarse cuestiones similares, en las que la suma de los coeficientes a la izquierda y a la derecha del signo igual coincida, y comparar resultados.

58) En la balanza adjunta hay una esfera de vidrio cerrada con una bola de papel dentro. En el platillo de la derecha se han colocado pesas hasta que se alcanza el equilibrio. Por medio de una lupa se hace arder totalmente el papel. Señalar cual de los esquemas, indica correctamente lo que marcará el fiel de la balanza:



ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Principio de conservación de la masa.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: El principio de conservación de la masa no está correctamente asumido por muchos alumnos, que en casos como el expuesto, piensan que parte de la masa desaparece, lo que lleva a calificar como cierta la propuesta b.

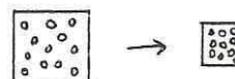
RESULTADOS:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error</u>
Séptimo de E.G.B.	135	80.0
Primero de B.U.P.	258	60.8

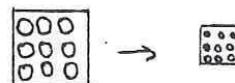
Tercero de B.U.P.	209	48.3
C.D.U.	239	37.2
Primero de Magisterio	65	45.0
Segundo de Químicas	92	17.4

59) Una de las propiedades más conocidas del aire es su compresibilidad (facilidad con que su volumen disminuye al aumentar la presión, como puede comprobarse fácilmente con una jeringuilla). Indicar cual de los esquemas siguientes interpreta adecuadamente esta propiedad:

a) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar disminuyen.



b) Al presionar, las partículas se comprimen reduciéndose así su tamaño.



c) No lo sé.

ORIGEN: Furió y Hernandez. 1983. Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*. 1, nº2.

CAMPO: Naturaleza de los gases.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Para muchos alumnos, como ya hemos señalado anteriormente, son las propias partículas de que está formada la materia, las que se funden, aumentan de temperatura etc. Esta idea llevaría a contestar como correcta la opción b.

RESULTADOS: Furió y Hernandez (1983), experimentaron esta cuestión con alumnos desde 5º de EGB hasta 2º de BUP. Por nuestra parte, la hemos

pasado desde 5º de EGB hasta 2º de Químicas. con los resultados que se reproducen a continuación:

<u>Grupo encuestado</u>	<u>N</u>	<u>Porcentajes de error</u>
7º de E.G.B.	134	60.5
1º de B.U.P.	264	45.6
3º de B.U.P.	208	24.8
COU	241	18.3
1º de Magisterio	65	24.6
2º de Químicas	92	2.2

60) De entre los siguientes elementos, subraya únicamente aquellos que en tu opinión sean metálicos:

cloro, plata, sodio, calcio, hierro, cobre, fluor, magnesio, oro, potasio.

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Identificación de elementos metálicos.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Todos los elementos citados en la cuestión son utilizados frecuentemente en el lenguaje cotidiano. No obstante, en ese mismo lenguaje se utiliza el término de metal para designar exclusivamente a elementos como el hierro, el oro, la plata, etc. Ello hace que los alumnos no identifiquen como elementos metálicos a el calcio, magnesio, sodio, etc.

RESULTADOS: La cuestión anterior, se pasó a un total de 286 alumnos de 2º de BUP, a comienzos del curso 86-87, antes de que hubiesen dado ningún tema. El objetivo era ver cuantos alumnos señalaban el Ca, el Na o el K como elemento metálico. Si uno tan sólo de ellos era señalado, la cuestión se calificaba como correcta. y si no mencionaba a ninguno de los tres

como incorrecta. Al contabilizar los resultados, encontramos que no había ninguna respuesta en blanco, y que el 83.2% de los alumnos no mencionaba como metálico ni uno solo de los tres elementos citados.

61) *La masa molecular del ácido sulfúrico es 98. Con ello queremos decir que: (señalar cierto o falso en cada caso)*

- a) Una molécula de sulfúrico pesa 98 gramos.*
- b) En una mol de sulfúrico hay 98 moléculas.*
- c) En cada gramo de sulfúrico hay 98 moléculas.*
- d) Otra respuesta (especificar).....*

ORIGEN: Carrascosa y Gil.

CAMPO: Concepto de mol.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: La mayoría de los profesores de Física y Química, habrán podido comprobar en ocasiones cómo los alumnos dan un resultado disparatado, sin plantearse siquiera la validez lógica del mismo. Uno de los casos en que esto ocurre con cierta frecuencia es en el manejo del concepto de mol. La incorrecta asimilación del mismo y fundamentalmente la metodología de la superficialidad habitualmente manejada por el alumno, llevan a hacer afirmaciones totalmente absurdas.

RESULTADOS: La cuestión se pasó a principio de curso a 286 alumnos de 2º de BUP, de los que hubieron 14 que la dejaron en blanco. El porcentaje de respuestas erróneas de los alumnos restantes fue del 97%. La opción preferida fue la b, que fue señalada como correcta por más del 68% de los alumnos.

62) *Explica cómo preparar a partir de sal común y agua pura, 5 litros de una disolución en la que hubiese 20 gramos de sal por cada litro de disolución.*

ORIGEN: Carrascosa y Gíl.

CAMPO: Disoluciones.

OBJETIVOS Y COMENTARIOS: Para los niños más pequeños, por el hecho de disolver un soluto sólido, en un disolvente líquido, no se varía el volumen resultante. Esta idea, como hemos tenido ocasión de comprobar, puede surgir también entre los más mayores, sobre todo, si contestan, como hemos venido insistiendo, de forma precipitada, sin realizar ningún tipo de análisis etc. Ello llevaría a contestar esta cuestión diciendo que bastaría con añadir 100 gramos de sal a 5 litros de agua.

A N E X O I I I

RELACION DE LIBROS DE TEXTO CONSULTADOS



Aragó, C. et al. 1978. *Ciencias de la Naturaleza*. Santillana.

Aragó, C. Lowy, E. et al 1981. *Ciencias de la Naturaleza*. Santillana.

Cañas, Ana M^a et al. 1980. *Ciencias de la Naturaleza*. Anaya.

De Manuel, E. 1973. *Ciencias de la Naturaleza*. Edelvives

Dou, José M^a et al. 1973. *Ciencias de la Naturaleza*. S.A. Casals. Barcelona.

Paraira, M. 1982. *Magnitud*. Vicens Vives.

Peiró, H, A. 1974. *Ciencias de la Naturaleza*. Anaya.

Pinto, R y Crespell, E. 1982. *Ciencias de la Naturaleza*. Vicens básica.

Averbuj, E. 1984. *Ciencias de la Naturaleza*. Barcanova. Barcelona.

Batlle, S,J. et al . 1983. *Ciencias de la Naturaleza*. Santillana.

Carrió, R. et al. 1974. *Ciencias de la Naturaleza*. S.A. Casals.

Casajuana, R. et al . 1976. *Ciencias de la Naturaleza*. Vicens Vives.

Codoni, M et al. 1976. *Ciencias de la Naturaleza*. Narcea, S.A. Madrid.

Fuster C, J. 1978. *Ciencias de la Naturaleza*. Magisterio Español.

Quijada, G, A. 1978. *Ciencias de la Naturaleza*. Edelvives.

Rivera, G et al. 1978. *Ciencias de la Naturaleza*. Edelvives.

2º de B.U.P.

Bascones, F. et al. 1981. *Física y Química*. Edelvives.

Beltran, J. Furió, C. et al. 1984. *Física y Química*. Anaya.

Cacho, F. Portela, I. et al 1976. *Física y Química*. Santillana.

Fec, R. e Izquierdo, M. 1976. *Física y Química*. Bello. Valencia.

Fidalgo Sanchez, J.A. 1984. *Física y Química*. Everest.

Lasheras, L, A y Carretero, M.P. 1978. *Positron*. Vicens Vives.

Lucea, L, J.J y Vigatá, L, J. *Spin*. S.M.

Marín, F y Negro, J,L. 1985. *Física y Química*. Alhambra.

Martín, J. et al. 1985. *Física y Química*. Magisterio Español.

Martinez Lorenzo, M,A. 1981. *Enlace*. Bruño.

Nagore, E. y Miralles, L. 1981. *Física y Química*. ECIR.

Olarte, M.A. et al. 1984. *Física y Química*. S.M.

Pujol, M. y Bozal, J. 1976. *Física y Química*. Teide.

Soler, P. et al. 1981. *Física y Química*. S.M.

Aragó, C. et al. 1977. *Física y Química*. Santillana.

Beltrán, J. Furió, C. et al. 1985. *Física y Química*. Anaya.

Buendía, M. et al. 1981. *Física y Química*. S.M.

Feo, R. Izquierdo, M. y Feo, J.L. 1977. *Física y Química*. Bello. Valencia.

Fidalgo Sanchez, J.A. 1984. *Física y Química*. Everest.

Gomez, C.L. et al 1979. *Física y Química*. Didascalía.

Lasheras, L.A. y Carretero, M^a. P. 1984. *Física y Química*. Vicens Vives.

Latorre, M. et al. 1982. *Física y Química*. Edelvives.

Lozano, L. JJ. y Vigatá, J.L. *Quark*. S.M.

Marín, F. y Negro, J.L. 1982. *Física y Química*. Alhambra.

Martín, J et al. 1981. *Física y Química*. Magisterio Español.

Martinez, A. et al. 1980. *Enlace III*. Bruño.

Nagore, E. y Miralles, L. 1983. *Física y Química*. E.C.I.R.

Pujol, M. et al. 1979. *Física y Química*. Teide.

QUIMICA C.O.U.

Calatayud, M^a.L. et al. *Química*. I.C.E. Universidad de Valencia.

Feo, R. Izquierdo, M. y Feo, J.L. 1978. *Química*. Bello. Valencia.

Guillem, C. 1979. *Química*. Marfil. Alcoy. (Alicante).

Guillen, J. et al. 1981. *Química*. *Magisterio Español*.

Morcillo, J. y Fernandez, M. 1984. *Química*. Anaya.

Negro, J.L. y Esteban, J.M. 1983. *Química*. Alhambra.

Salinas, F. y De Manuel, E. 1981. *Química*. Edelvives.

FISICA C.O.U.

Aguilar, J. et al. 1983. *Física*. Anaya.

Agulles, J. et al. 1979. *Física*. *Magisterio Español*.

Alsina, J. et al. 1985. *Física*. Teide.

Berrojo, R. y Guillem, C. 1978. *Física*. Marfil. Alcoy. (Alicante).

Casanova, C.J. et al. 1983. *Física*. Santillana.

Caturla, E. y Vidal, F. 1982. *Quark*. Vicens Vives.

De Manuel, E. y Salinas, F. 1981. *Física*. Edelvives.

Feo, R. Izquierdo, M. y Feo, J.L. 1978. *Física*. Bello. Valencia.

Gil, P.D. et al. 1979. *Física*. ICE de la Universidad de Valencia.

Marín, F. 1982. *Física*. Alhambra.

Martinez, A. et al. 1980. *Física*. Bruño.

Olarte, M.A. et al. 1985. *Física*. Teide.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABOU H.I. y HESTENES D., 1985, The initial knowlwdge state of college physics students. *American Journal Physics*. 53 (11), pp 1043-1055.
- AGUILA, R., CARRASCOSA, J., GIL, D y MARTINEZ TORREGROSA, J. 1982. Papel de las hipótesis en la enseñanza de las ciencias. *Primeras jornadas de investigación en la didáctica de la Física y Química*. Valencia. I.C.E. de la Universidad de Valencia. pp 79-85.
- AGUILA R, GIL D Y GONZALEZ A, 1986, L' Ensenyament de la Física a través de les proves d'avaluacio. *Escuela de Magisterio de Lérida*. (pendiente de publicación).
- ALONSO, J. Y PANIAGUA, M. 1984. *Química. Soluciones de problemas propuestos en las P.A.U.* . Edinumen. (Madrid).
- ALTHOUSSER, L. 1975. *Curso de filosofía para científicos*. (Laia, Barcelona).
- ARONS B.A., 1980, *Thinking reasoning and understanding in introductory physics courses*. (Physics Teaching GIREP. U. Ganiel Editor. Balaban: Jerusalem).
- ASTOLFI P.J., 1978, Les representations des enfants en situation de classe. *Rev. Fran. de Pedagogie* 45, pp 126-128.
- AUSUBEL P.D., 1978, *Psicología educativa* (Trillas: Méjico).
- BACHELARD,G., 1938, *La formation de l'esprit scientifique*. (Vrin: París).
- BANY, A.M y JOHNSON, V,L. 1970. La dinámica de grupo en educación. La conducta colectiva en las clases de primera y segunda enseñanza.

- BARBETA, M.G. et al. 1984. An investigation on students' frameworks about motion and the concepts of force and energy. *Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress*, pp 219-226. Utrecht. Holanda.
- BELTRAN J., FURIO C., GIL D., GIL G., LLOPIS R. y SANCHEZ A., 1982, *Física y Química de 2º de BUP.* p, 81. Anaya. Madrid.
- BELTRAN J., FURIO, C., GIL, D., GIL, G. LLOPIS, R y SANCHEZ, A. 1982. *Física y Química de 3º de BUP.* Anaya. Madrid.
- BERNAL, J.D. 1967. *Historia Social de la Ciencia.* (Peninsula. Barcelona).
- BILEH, V.Y y MALIK, M.H. 1977. Development and application of a test on understanding the nature of science. *Science Education*, 61, pp 559-571.
- BOUND D.J., DUNN J., KENEDY T., THORLEY R., 1980, The aims of science laboratory courses; a survey of students, graduates and practising scientists. *European Journal of Science Education*, 2, 428-451.
- BROOK, A. et al. 1983. *Secondary students ideas about particles.* (Documento interno). Centre for studies in science and mathematics education. Universidad de Leeds. Gran Bretaña.
- BRUNER S.J., 1960, *The process of education.* Vintage Books. New York.
- BULLEJOS DE LA HIGUERA, J., 1983, Análisis de las actividades de los textos de Física y Química en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias.* Vol.1, Nº 3, pp 147-157.
- BUNGE, M. 1972. *La investigación científica.* Ariel.
- BUNGE, M. 1978. *Filosofía de la Física.* Ariel

- CALATAYUD, M.L., CARBONELL, G.F., CARRASCOSA, J. et al . 1986. *Iniciación a las ciencias físico-químicas en la enseñanza media*. ICE, Universidad de Valencia
- CALTAYUD, M.L., FURIO, C., HERNANDEZ, J et al. 19880 a. *Química de COU. Programas guías de trabajo para la clase activa*. ICE de la Universidad de Valencia.
- CALATAYUD, M.L., FURIO, C., HERNANDEZ, J., et al. 1980 b. *Trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones*. ICE, Universidad de Valencia.
- CAMBRA E. et al., 1982, *Selectividad. Exámenes 1981. Enunciados y soluciones. Pruebas de Acceso a la Universidad y Magisterio. Distrito de Zaragoza*. Edinumen. Madrid.
- CARRASCOSA J., 1982, *Los errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias*, Tesis de Licenciatura. Facultad de Químicas. Universidad de Valencia.
- CARRASCOSA J., 1983, Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias* 1(1), pp 63-65.
- CARRASCOSA J., 1985, Errores conceptuales en la enseñanza de la Física y Química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3),pp 230-234.
- CARRASCOSA J. y GIL D., 1983, ¿Una enseñanza inefectiva? *Naturaleza y matemáticas*. nº 8. p 12. Ediciones Anaya.
- CARRASCOSA J. y GIL D., 1985, La Metodologia de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciencies. *Enseñanza de las ciencias* 3(2), pp 113-120.

- CARRASCOSA J. y GIL D., 1986, Diferencias en la evolución de los
preconceptos de mecánica y de química. *Jornades de Recerca
Educativa. Lleida 1986*. (Pendiente de publicación).
- CARRASCOSA J., Gil D., y GONZALEZ A., 1982, Per un replantejament de la
noció d'error conceptual. *Jornades de Recerca Educativa. Lleida, 1982*.
Edita: Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad
Autónoma de Barcelona.
- CARRASCOSA J., FURIO C., GIL D., 1983, Formation du professorat des
ciencias et changement methodologique. *7ª jornadas de la enseñanza
científica. Chamonix. (Francia)*.
- CERVELLATI, R. et al. 1982. Investigation of secondary students'
understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemical
Education* Vol 59, nº 10, pp 852-856.
- CERVELLATI, R. y PERUGINI, D. 1981. The understanding of the atomic
orbital concept by italian high school students. *Journal of Chemical
Education*. Vol 58, nº 7, pp 568-569.
- CLEMENT, J. 1981. Students preconceptions in introductory mechanics.
American Journal of Physics. Vol 50, nº 1.
- COHEN, M.R y NAGEL, E. 1973. *Introducción a la lógica y al método
científico*. Amorrortu.
- COLMEZ, DELACOTTE y RICHARDS. 1978. Statut de l'observation et de
l'activité experimentale chez l'eleve. *Rev. Fran. de Péd.* 45. pp 55-65.
- COUSSINET, R. 1968 Une méthode de travail libre per groupes. *Les editions
du Cerf*. 3ª ed.

- DELACOTTE, G. 1978. Methodes et resultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans differents domaines de la physique. Deux exemples: Les notions de chaleur et lumière. *Revue Francaise de Pedagogie*. nº 45.
- DERSKE, W. 1981. Popper's Epistemology as a pedagogic and didactic principle or: Let them make more mistakes. *Chemical Education*. Vol 58, pp 565-567.
- DEWEY J., 1938. *Experience and Education*. Collier Books. New York.
- DEWEY J., 1945. Methods in Science Teaching. *Science Education*. 29. pp 119-123.
- DIBAR URE, M^a CELIA. 1984. A study of brazilian university freshmen answers to a problem in mechanics. *Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress*, pp 234-239. Utrecht. Holanda.
- DIERKS, W. 1981. Teaching the mole. *European Journal of Science Education* Vol 3, pp145-158.
- DORAN, L.R. 1972. Misconceptions of selected science concepts held by elementary school students. *Journal of Research in Science Teaching* 9, nº2
- DRIVER R., 1983, An approach to documenting the understanding of 15 years old british children about the particulate theory of mater. Comunicación presentada en: International summer workshop. Research on Physics Education. La londe les Maures. France. (junio-julio 1983). *Editions du C.N.R.S.* pp 340-346. Paris.
- DRIVER, R. 1984. Cognitive pshycology and pupils' frameworks in mechanics. *Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress*. pp 171-178. Utrecht. Holanda. → V 4 Mº1 1986 *Ensen de la ciencia*.

DRIVER., 1985, Cognitive psychology and pupils' frameworks in mechanics.
Proceedings of the GIREP Congress 1984 (Utrecht), pp.171-198.

DRIVER R., 1986 a, *Sicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp 3-15.

DRIVER, R. 1986 b. Restructuring the Physics Curriculum: Some implications of studies on learning for curriculum development. *New Trends on Physics Education*. Japón. Agosto 1986. Sophia University. pp 3-34.

DRIVER, R et al. 1985. Beyond appearance: the conservation of matter under physical and chemical transformations. Para publicar en *Children's ideas in science*. Open University press. Milton Keynes. Gran Bretaña.

DRIVER, R y BEVERLY, B. 1985. Students' thinking and the learning of science: A constructivist view. Enviado para su publicación a *School Science Review*.

DRIVER, R y BROOKE, A. 1984. *Aspects of secondary students' understanding of energy: Full report*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Universidad de Leeds. Gran Bretaña.

DRIVER, R. BROOKE, A et al. 1984. *Aspects of secondary students' understanding of heat: Full report*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Universidad de Leeds. Gran Bretaña.

DRIVER, R y EASLEY, J. 1978. Pupils and Paradigms: A Review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, pp 61-84.

DRIVER, R y ENGEL, E. 1985. Secondary students' conceptions of conduction of heat: bringing together scientific and personal views. Aceptado para su publicación en el *Physics Education*.

- DRIVER, R y ERICKSON, G. 1983. Theories in action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*. Vol 10, pp 37-60.
- DRIVER, R y OLDHAM, V. 1986. A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*. 13. pp 105-122.
- DRIVER, R y WARRINGTON, L. 1984. Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. Enviado para su publicación a *Physics Education*.
- DUIT, R. 1981. Understanding energy as a conserved quantity. *European Journal of Science Education*. Vol 3, nº 3, p 291.
- ELTON L., 1980, The physics curriculum a suitable case for treatment? Editorial del vol. 15 del *Physics Education* pp 129.
- ENGEL, E y DRIVER, R. 1986. A Study of Consistency in the Use of Students' Conceptual Frameworks Across Different Task Contexts. *Science Education*. 70 (4); 473-496.
- ENYEART, BAKER y VANGERLINGEN, 1980, Correlation of inductive and deductive logical reasoning to college physics achievement. *Journal of Research in Science Teaching*. 17, pp 263-267.
- ERICKSON, G. 1980. Childrens' conceptions of heat. *Science Education*. 64, pp 323-338.
- FIDALGO S. y ANTONIO J., 1984, *Física y Química de 3º de BUP*. Everest.
- FREDETTE N. y LOCHHEAD J., 1980, Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*. Vol. 18, pp 194-198.

- FURIO, C y GIL, D. 1978. *El programa-guia: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química en el bachillerato.* ICE de la Universidad de Valencia.
- FURIO C. y GIL D., 1983, *Strategie pour mettre en liaison formation des enseignants en recherche educative*, In A. Giordan y J.L. Martinand. eds. *¿Quels Types de Recherche pour Rénover l'Education en Sciences Experimentales?* Université de París. París.
- FURIO C. y HERNANDEZ J., 1983, Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol.1, Nº 2, pp 83-87.
- FURIO, C y ORTIZ, E. 1983. Persistencia de errores conceptuales en el equilibrio químico. *Enseñanza de las ciencias*, Vol 1, pp 15-20.
- GAGNE, R.M. 1970. *Las condiciones del aprendizaje*. Aguilar. Madrid.
- GENE, A y GIL, D. 1982 a. Els treballs pràctics de Biologia i el mètode científic. I. Anàlisi Crític. *Primeres jornades de Recerca Didàctica*. Lleida.
- GENE, A y GIL, D. 1982 b. Els treballs pràctics de Biologia i el mètode científic. II. Una proposta alternativa. *Primeres Jornades de Recerca Didàctica*. Lleida.
- GENE A. y GIL D., 1983, Els treballs pràctics de Biologia i el mètode científic. Una proposta basada en el descobriment guiad. *Primeres Jornades de Recerca Educativa*. Lleida 1982. Edita: ICE de la Universidad Autónoma de Barcelona. pp 135-149.
- GENEVIEVE, M. 1982. A study of some frameworks used by pupils aged 11 to 13 years in the interpretation of air pressure. *European Journal of Science Education* Vol 4, nº 3, pp 279-239.

- X GIL D., 1982, ¿Cómo enseñamos la Física?: Implicaciones de un ejemplo. *Naturaleza y Matemáticas* Nº 4. Anaya. Madrid.
- GIL D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 1, pp 26-33.
- GIL D., 1986, La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas. (Comunicación presentada en el congreso PEDAGOGIA 86 en La Habana. Cuba). *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 5, Nº 2, pp 111-121.
- GIL D. y CARRASCOSA J., 1985, Science Learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, vol 7, Nº 3, 231-236.
- GIL D. y MARTINEZ TORREGROSA J., 1983, A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*. Vol 5, pp 447-455.
- GIL D. y MARTINEZ TORREGROSA J., 1984, Problem - Solving in Physics: A critical analysis. *Research on Physics Education*. (Editions du CNRS. París).
- GIL, D y MARTINEZ TORREGROSA, J. 1986. La resolution de problèmes comme instrument de changement méthodologique. *Petit X*.
- GIL Y MARTINEZ TORREGROSA, J. 1987. MEC. La resolución de problemas como investigación. Publicaciones del M.E.C. Madrid. (pendiente de publicación).
- GIL, D y PAYA, J. 1982. Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y Química. I. Un análisis crítico. *Primeras jornadas de Investigación didáctica de la Física y Química, en el BUP y COU*. ICE de la Universidad de Valencia.

- GIL D. y PAYA J., 1984, Los trabajos prácticos de Física y Química y la Metodología Científica. Comunicación presentada en la XX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Castellón 1984.
- GILBERT, K.J et al. 1982. Children's science and its consequences for teaching. *Science Education* 66, nº4, pp 623-633.
- GILBERT, K.J. y WATTS, M.D. 1983. Concepts, Misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in Science Education. *Studies in Science education*. 10, pp 61-98.
- GIORDAN, A. 1978. Observations-Experimentation: Mais comment les élèves apprennent-ils?. *Revue Francaise de Pedagogie*. 44, pp 66-73.
- GOMEZ C,L. et al., 1979, *Física y Química de 3º de BUP*. Didascalía.
- GUESNE, E. 1984. Children's ideas about light. *New trends in physics teaching*. Vol IV, pp 179-192. Publicado por United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. 7 Place de Fontenay, 75700. Paris.
- GUNNING D.J. y JOHNSTONE A,H., 1976, Practical work in the scotish O-grade. *Education in Chemistry*. 13, pp 12-14.
- X GUREVICH, E.A. 1973. An Analysis of Pupils Knowledge of Mechanics. *Soviet Education*. Nov-Dic.
- HASHEW, M.Z. 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education* 8(3), pp 229-249.
- HELM H., 1980, Misconceptions in physics amongst South African Students. *Physics education* 16.
- HEMPEL, C.G. 1976. *Filosofía de la ciencia natural*. Alianza. Madrid.

- HEWSON, P.W. 1981. A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*. 3, nº 4, pp 383-396
- HEWSON, M.G. y HAMLYN, D. 1983. The representation and analysis of conceptions of heat. *Editions du C.N.R.S.* pp 348-354. Paris.
- HEWSON, M.G. y HAMLYN, D. 1984. The influence of intellectual environment on conceptions of heat. *European Journal of Science Education*. Vol 6, nº 3, pp 245-262.
- HEWSON M.G. y HEWSON P.W., 1984, Effects of instruction using students' prior knowledge and conceptual strategies on science learning. *Journal of Science Education*, 6, pp 1-6.
- HODSON D., 1985, Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*. 12, pp 25-57.
- HOLTON G. y ROLLER H.D., 1972, *Fundamentos de la Física Moderna*. Reverté. Barcelona.
- HOTYAT F., 1962. Les Examens. *Institut de l' Unesco pour l' Education*. Edit. Bourreller. París.
- IOWI, U. 1984. Misconceptions in physics amongst Nigerian secondary school students. *Physics Education* Vol 19, pp 279-285.
- JAMES, R.K. y SMITH, S. 1985. Alineation of students from science in grades 4-12. *Science education*. 69. 39-45.
- × JOHNSTONE, A.H. et al 1977. Misconceptions in School Thermodynamics. *Physics Education*. Mayo. p 248.
- JOHSUA, S. 1984. Students' interpretation of simple electrical diagrams. *European Journal of Science Education*. Vol, 6. nº 3, pp 271-275.

- KAPITZA, P.L. 1977. *Le livre du Probleme de Physique*. (CEDIC. Paris).
- KAVANAUGH, R.D y MOONAW, W.R. 1981. Inducing formal taught in Introductory Chemistry Students. *Chemical Education* 58, pp 263-264.
- KEISLAR, E.R. y SHULMAN, L.S. 1966. *Learning by Discovery: A critical Appraisal*. (Chicago, Rand Mc Nally).
- KENNETH T., 1984, Effects of extended wait time on discourse characteristics and achievement in middle school grades. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 21. Nº 8, pp 779-791.
- KRASILCHIK M., 1979, Biology Teaching in Brazil. A case of curricular transformation. *Journal of Biological Education*. 13, pp 311-314.
- KUBLI, F. 1979. Piaget's Cognitive Psychology and its consequences for the Teaching of Science. *Eur. Jour. Sci. Educ.* 1, nº1, pp 5-20.
- KUETHE, J.L. 1963. Science concepts: A study of sophisticates Errors. *Science Education*, 47, pp 361-364.
- KUHN, TH.S. 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de Cultura Económica: Mexico).
- KYLE, W.C. Jr. 1980. The distinction between Inquiry and Scientific Inquiry and why High School Students Should be Cognizant at the Distinction. *Journal of Research in Science Teaching*. 17, pp 123-130.
- LA ROSA C. et al 1984. Common sense Knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*. Vol 6, nº 4, pp 387-397.
- LASHERAS, A. 1978. "Positrón". *Física y Química de 2º de BUP*. Vicens Vives.
- LEBOUTET, L. 1973. *L'Enseignement de la Physique* P.U.F. Paris.

- x LEBOUTET L. y BARREL ., 1976, Concepts of mechanics among young people. *Physics Education* , 11 pp 462-465.
- LOPEZ BUSTOS C., 1964, *Problemas de Física. Curso preuniversitario*. Gregorio del Toro. Madrid.
- MACEDO DE BOURGUI, B. y SOUSSAN, G. 1985. Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias, Vol 3, pp 83-90*.
- MARIN N. y NEGRO J,L., 1982, *Física y Química de 3º de BUP*. Alhambra.
- MARTIN J. Et al., 1981, *Física y Química de 2º de BUP*. Magisterio Español.
- MARTINEZ A. et al., 1980, *Física y Química de 3º de BUP*. Bruño.
- Mc CLELLAND J,A,G., 1984, Alternayive frameworks: Interpretation of Evidence. *European Journal of Science Education*,Vol. 6, pp. 1-6.
- Mc DERMOTT, L.C. 1984. Critical Review of Research in the Domain of Mechanics. *Research on Physics Education*. Editions du C.N.R.S. Paris
- Mc DUFFIE, D.E. 1973. Learning Through practical work. *Education in Chemistry*. Mayo. pp 87-88 y 93.
- MASTERTON, L.W. y SLOWINSKI, J.E. 1980. *Química General Superior*. Interamericana.
- MAYFELD, J.M. 1976. Factors affecting rationally in the discussion of a problem by small groups of secondary school students. *Science Education*. 60, 170-183.
- MEC 1975 Plan de estudios del Bachillerato. *Decreto 160/1975*

- MEHENT, M. et al. 1985. Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*. Vol 7, nº1, p 83.
- MENDEZ M,A., 1981, *Problemas de Física y Matemáticas. Acceso a la Universidad*. Alhambra. Madrid.
- MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA., 1967, *Curso de Preuniversitario. Temas de las pruebas de madurez 1967. Física y Química. Guías didácticas de Enseñanza Media*. MEC. Madrid.
- MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA., 1968. *Bachillerato Temas de Exámenes de grado elemental Convocatorias de junio y septiembre de 1968. Ciencias. Guías Metodológicas de Enseñanza Media*. MEC. Madrid.
- MORENO M,M., 1986, Ciencia y construcción del pensamiento. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 4, Nº 1, pp 57-63.
- MUCCHIELLI, R. 1969. *La Dynamique des Groupes*. N.S.T.A. Curriculum Committee. 1964. (pp 17-18). Citado por Ausubel 1978 en p 398.
- N.S.T.A. 1964 *Curriculum Committee pp 17-18*(Citado por Ausubel 1978 en p 398).
- NATCHIGALL, D. 1984. Misconceptions in physics and strategy to overcome them. *Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress* pp 1-23. Utrecht. Holanda.
- NIELSEN, H y THOMPSON, P.V. 1984. Ideas about force and movement among danish university students and candidates. *Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress* pp 248-254. Utrecht. Holanda.
- NUEVO MANUAL de la U.N.E.S.C.O. para la enseñanza de las ciencias. 1982. Edhasa. Barcelona.

- NUSSBAUM, J. 1981. Towards the diagnosis by Science Teachers of pupil's misconceptions: An exercise with Students Teachers. *European Journal of Science Education*. 3, pp 159-169.
- NUSSBAUM, J y NOVACK, D.J. 1976. An Assessment of Children's Concepts of the Earth Utilizing Structured Interviews. *Science Education*. 60, nº 4, pp 535-550.
- NUSSBAUM, J y NOVICK, S. Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study. Israel Science Teaching Center. The Hebrew University. Jerusalem.
- X OGBORN, J. 1976. Dialogues Concerning Two Old Sciences. *Physics Education*. Vol 11, p 272.
- OGUNNIYI, M.B. y PELIA, M.D. 1980. Conceptualizations of scientific concepts, laws and theories held by Kwarw State, Nigeria, secondary school teachers. *Science Education*. 64, 591-599.
- OSBORNE, J.R. 1984. Children's Dynamics. *The Physics Teacher*. Vol 22, nº8.
- OSBORNE, J.R. et al 1983. Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*. Vol 5, nº 1, pp 1-14.
- OSBORNE, J.R. y COSGROVE, M. 1983. Children's conceptions of the change of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol 20, nº 9, pp 825-838.
- X OSBORNE, J.R. y GILBERT, K.J. 1980 a. A Technique for exploring students views of the world. *Physics Education*. 15, p 377.
- X OSBORNE, J.R. y GILBERT, K.J. 1980 b. A method for investigating concept understanding in Science. *European Journal of Science Education*. Vol 2, nº 3, pp 311-321.

- OSBORNE J.R. y WITTROCK M., 1983, Learning Science: a generative process, *Science Education* 12, pp 59-87.
- OSBORNE J.R. y WITTROCK M., 1985, The Generative Learning Model and its implications for Science Education, *Studies in Science Education*, 12, pp 59-87.
- PARAIRA M., 1982. *Naturaleza 7º de EGB*. Vicens Vives.
- PIAGET, J., 1969, *Psicología y Pedagogía*. Editorial Ariel. (Barcelona).
- PIAGET J., 1970, *La Epistemología Genética*. A. Redondo. Madrid.
- PIAGET J., 1979, *Seis estudios de psicología*, Seix Barral, Barcelona.
- PICKERING, M. y GOLSTEIN, S.L. 1977. The Educational Efficiency of Lab Reports. *Journal of Chem. Educ.* 54, pp 315-317.
- PINTO R. y CRESPELL E., 1982, *Naturaleza 7º de EGB*. Vicens Vives. Zaragoza.
- POPPER, K.R. *La lógica de la investigación científica*. Tecnos.
- POSNER G.J. STRIKE K.A. HEWSON P.W y GERTZOG W.A., 1982, Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education* 66, pp 211-227.
- PREECE P.F., 1984, Intuitive Science: learned or triggered? *European Journal of Science Education*. Vol. 6, pp 7-10.
- REINDERS, D. 1984. Work, Force, and Power-Words in Everiday language and terms in mechanics. *Proceedings of the G.I.R.E.P. Congress* 99 227-233. Utrecht. Holanda.

- 7 RENNER J,W y GRANT R.M., 1978. Can students grasps physics concepts?. *The Science Teaching*. octubre, pp 30-33.
- ROBINSON 1969. Philosophy of Science: Implications for Teachers education. *Journal of Research in Science Teaching*. 6, pp 99-104.
- ROWELL, J.A. y CAWTHORN, E.R. 1982. Images of Science: an empirical study. *European Journal of Science Education*, 4, 1-10.
- SALTIEL E. y VIENNOT L., 1985, ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de nuestros estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 3, Nº 2, pp 137-144
- SAYER, M y HUGH, W. 1981. The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 year olds. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol 18, nº 5, pp 419-434.
- SEN'KO, R.U. 1983. Correcting the precientific conceptions of school children. *Fizika v Shkole*. 1972. nº1. *Soviet Education*. Nov-Dic, 1973.
- SEXL, R.U. 1981. Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*. Vol 3, nº3, p 175.
- SÖLER, P. et al. 1981. *Física y Química de 2º de BUP*. S.M.
- SWAIN R.L., 1974, Practical objectives. A review. *Educación in Chemistry*. septiembre 1984, pp 152-154 y 156. Preguntar Daniel sobre el año.
- TAMIR, P. 1977. How are the laboratory used?. *Journal of Research in Science Teaching*. 14, pp 311-316.
- TIBERGHIEEN, A. 1983. La investigación en un laboratorio de didáctica de las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol 1, nº3, pp 188.

VAN DALEN 1966. *Understanding Educational Research*. (Mc Graw Hill).

VEGA, A.M y AGAPITO, S.Mª V. 1978. Los conceptos de trabajo mecánico, energía y calor. *Revista de Bachillerato*, nº 5, pp 56-59.

VERMA, G.K. y BEARD, R.M. 1981. *What is Educational Research*. Gower.

VIENNOT L., 1976, *Le raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*, Tesis Doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: Paris).

VIENNOT L., 1979, Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), pp 205-221.

WARREN W.J. 1982. The nature of energy. *European journal of Science Education*. Vol 4, nº 3, pp 295-297.

WATTS, M.D y ZYLBERSZTAJN. 1981. A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, Vol 18, p 360.

WAYNE D, 1981. *Estadística con aplicaciones a las ciencias sociales y a la educación*. (Mc Graw Hill).

WILSON et al 1981. *Research methods in Education and Social Science*. Open University: Milton Keynes. Great Britain.

YAGER R.E. y PENICK J.E., 1983, Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, Vol.5, pp 459-463.